COMPTE RENDU

DES SÉANCES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 11 JANVIER 1841.

PRÉSIDENCE DE M. SERRES.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

PHYSIQUE. — *Recherches sur la cause des mouvements que présente le camphre placé à la surface de l'eau, et sur la cause de la circulation chez le Chara ; par* M. **Dutrochet**. (Deuxième partie.)

« **27**. J'ai fait voir, dans la première partie de ce Mémoire, quelles sont les *causes efficientes* du mouvement du camphre placé à la surface de l'eau; je vais rechercher dans cette seconde partie, quelles sont les *causes prédisposantes* de ce même mouvement, et je ferai voir en même temps comment ce phénomène se lie à celui du mouvement circulatoire chez le chara. La question des *causes prédisposantes* dont il s'agit ici est entièrement neuve; les physiciens n'ont même pas soupçonné l'existence de ces causes.

» **28**. Lorsqu'on met une parcelle de camphre sur de l'eau placée dans un vase large et de peu de profondeur, tel qu'une soucoupe ou une assiette, le mouvement de cette substance ne manque jamais de se manifester. Il n'en est pas de même lorsqu'on emploie, pour cette expérience, des

vases dont la profondeur est égale ou supérieure à la largeur et qu'on les remplit d'eau : alors on observe des anomalies très surprenantes. Dans ces vases remplis d'eau, une parcelle de camphre, placée à la surface de ce liquide, tantôt se meut et tantôt demeure complétement immobile. Le même vase (et je ne me sers ici que de vases de verre ou de porcelaine) étant employé à des expériences successives de ce genre, étant rempli de la même eau et par la même température, on observe ces anomalies qui ne se présentent jamais lorsque le vase est large et peu profond. Ce premier fait me fit soupçonner que la profondeur variable de l'eau influait sur ce phénomène; je fis des expériences pour m'en assurer. Je commence par faire observer que dans toutes mes expériences, j'ai eu soin que les vases et l'eau, ou les liquides aqueux que je devais y mettre, eussent la même température. Pour cela je faisais séjourner les uns et les autres dans mon cabinet pendant un temps suffisamment long pour que le tout prît également la température qui y régnait.

» **29.** Je mis une parcelle de camphre sur la surface de l'eau qui remplissait un verre à boire cylindrique de 70^{mm} de diamètre et de 75^{mm} de profondeur. Cette parcelle de camphre demeura complétement immobile. J'ôtai un peu d'eau du vase, en l'inclinant; le camphre continua à demeurer immobile. Je fis une seconde soustraction d'eau, qui réduisit celle-ci à une profondeur de 50^{mm}, alors le camphre commença à se mouvoir. Je remplis de nouveau le vase, et le mouvement du camphre s'arrêta. Je vidai le vase à moitié et le mouvement du camphre se manifesta. Je remplis encore le vase, mais le mouvement du camphre ne fut plus interrompu. Je recommençai plusieurs fois ces expériences et le fait de la suspension du mouvement du camphre ne se reproduisit plus quoique le vase fût rempli. Il y avait là une cause phénoménale inaperçue; je m'appliquai à sa recherche, et à force de tentatives je parvins à la découvrir. Lorsque le vase cylindrique, dont j'ai donné ci-dessus les dimensions, était rempli d'eau versée brusquement et avec collision de l'eau sur elle-même, le camphre se mouvait à la surface de ce liquide; mais lorsque l'eau était versée avec ménagement et de manière à ce qu'elle n'éprouvât point, ou presque point de collision, le camphre demeurait immobile. Alors pour diminuer autant que possible la collision de l'eau, j'imaginai de la faire couler dans le vase au moyen d'un entonnoir dont le bec effilé plongeait dans cette eau, laquelle s'élevait ainsi lentement dans le vase sans choc, sans éprouver de collision. Au moyen de cette précaution l'expérience réussit constamment; toujours le camphre demeura immobile à la surface de l'eau

qui remplissait le vase cylindrique de verre, dont la profondeur était de 75^{mm} et la largeur de 70^{mm}. Je voulus savoir alors à quelle profondeur il fallait réduire l'eau contenue dans ce vase pour voir renaître le mouvement du camphre. Je soutirai lentement l'eau avec une pipette; le mouvement du camphre commença à se manifester lorsque la profondeur de l'eau se trouva réduite à 60^{mm}; mais ce mouvement ne tarda pas à s'arrêter. Je soutirai encore de l'eau jusqu'à ce que le mouvement du camphre recommençât à se manifester, ce qui arriva lorsque la profondeur de l'eau se trouva réduite à 55^{mm}; ce mouvement ne tarda pas encore à s'arrêter. Je soutirai de nouveau de l'eau avec la pipette jusqu'à ce que le camphre eût repris du mouvement, ce qui arriva d'une manière brusque, lorsque la profondeur de l'eau se trouva réduite à 50^{mm}. Dès-lors le mouvement du camphre ne s'arrêta plus. Je répétai un grand nombre de fois ces expériences en employant d'autres verres à boire cylindriques; et j'obtins constamment des résultats analogues, c'est-à-dire abolition du mouvement du camphre lorsqu'ils étaient remplis d'eau versée sans collision, établissement simplement momentané de ce mouvement lorsque la réduction de la profondeur de l'eau, opérée avec une pipette, n'était pas portée jusqu'à un point déterminé, et enfin établissement définitif et constant de ce même mouvement lorsque ce point déterminé de la profondeur de l'eau était atteint. J'ai employé à ces expériences beaucoup d'autres vases de verre ou de porcelaine soit cylindriques, soit évasés en cône tronqué, et constamment j'ai obtenu les mêmes résultats, en mettant en usage les mêmes précautions et cela par des températures qui ont varié de + 2° à + 17° cent. Dans ces expériences, je ne me suis pas borné à l'emploi de petits vases de verre; j'ai fait usage de bocaux cylindriques d'assez grandes dimensions; l'un de ces bocaux avait 120^{mm} de diamètre. L'eau versée dans ce bocal, sans éprouver de collision et à l'aide de l'entonnoir à bec effilé, ainsi que je l'ai indiqué plus haut, présenta le mouvement du camphre jusqu'à ce que sa profondeur eût dépassé 85^{mm}; alors le camphre demeura immobile à la surface de l'eau. Il est résulté de la comparaison que j'ai faite de beaucoup d'expériences entre elles que, dans les vases de verre cylindriques, le mouvement du camphre, à la surface de l'eau versée sans collision, s'arrête avant que la hauteur de ce liquide soit devenue égale au diamètre du vase. Dans le plus grand nombre des expériences j'ai vu que le diamètre du vase étant 7, la plus grande profondeur de l'eau à laquelle s'observait la continuation du mouvement du camphre était 5 : mais ce rapport n'est ni général, ni constant; il offre certaines variations. Lorsque l'eau est versée

avec collision de ce liquide sur lui-même, le mouvement du camphre à sa surface a toujours lieu à quelque hauteur que ce liquide soit porté dans un vase.

» **30**. Il résulte de ces expériences qu'il existe, pour chaque vase, une certaine profondeur d'eau à laquelle le mouvement du camphre cesse d'exister, et que cette profondeur, qui n'est point absolue, est dans un certain rapport avec le diamètre du vase. Cette première observation m'a déterminé à faire réduire la profondeur des vases que j'employais le plus souvent pour mes expériences, au-dessous de la limite à laquelle s'arrête le mouvement du camphre placé sur l'eau. J'éliminais de cette manière l'une des causes connues de l'abolition de ce mouvement, ce qui me mettait à même d'en observer d'autres si, par hasard, il en existait. Ce sont, le plus souvent, des verres à boire cylindriques de 60 à 70 millimètres de diamètre que j'ai fait ainsi diminuer considérablement de profondeur pour les employer dans mes expériences. Je les désignerai sous le nom de *cupules*.

» **31**. Ainsi qu'on vient de le voir, le mouvement du camphre s'arrête lorsque la profondeur de l'eau, versée dans un vase de verre sans éprouver de collision, est près d'égaler l'étendue du diamètre de ce vase. Mais il ne résulte pas de là que le mouvement du camphre ne puisse jamais s'établir sur cette eau. En effet, j'ai expérimenté qu'au bout d'un certain temps le mouvement du camphre s'établit spontanément sur la surface de l'eau, qui en raison de sa profondeur, n'avait point d'abord présenté ce mouvement. J'ai rempli d'eau, versée sans collision, un vase de verre cylindrique dont le diamètre, égal à la profondeur, était de 62 millimètres. Une parcelle de camphre placée à la surface de cette eau y demeura parfaitement immobile. La température était alors à + 10° cent. Cette immobilité du camphre persista pendant huit heures et demie. Alors commença à se montrer une légère oscillation qui plus tard devint un mouvement vif. Ainsi la profondeur relative de l'eau formant un obstacle à l'établissement du mouvement du camphre, ce mouvement s'établit spontanément au bout d'un temps d'une durée qui varie suivant des circonstances que je n'ai pas toutes déterminées, mais parmi lesquelles le degré de la température joue bien certainement un rôle. Lorsque la profondeur de l'eau est de beaucoup supérieure à l'étendue du diamètre du vase, le mouvement du camphre, à la surface de ce liquide, ne s'établit que fort tard. J'ai pris un de ces vases cylindriques de verre que l'on nomme *éprouvettes* et qui ont beaucoup de profondeur avec un petit diamètre. Ce vase avait 57 millimètres de dia-

mètre intérieur et une profondeur de 194 millimètres. J'y fis couler doucement de l'eau en la faisant glisser le long des parois, en sorte qu'elle n'éprouvait aucune collision. Une parcelle de camphre placée à la surface de cette eau y prit son mouvement ordinaire, qui cessa lorsque l'eau eut atteint la hauteur de 45 millimètres. Alors j'imprimai au vase un mouvement de circumduction horizontale duquel il résulta que l'eau qu'il contenait prit un mouvement de rotation sur elle-même et sur un axe vertical, mouvement qu'elle conserva lorsque le vase fut replacé dans l'immobilité. A l'instant où l'eau reçut ce mouvement qui la faisait frotter contre les parois du vase, le camphre placé à sa surface prit un vif mouvement spontané et très facile à distinguer du mouvement de transport circulaire qu'il partageait avec l'eau. Ce dernier mouvement d'ailleurs ne tarda pas à s'apaiser et à disparaître, et alors le mouvement spontané du camphre continua seul d'exister. Je portai la hauteur de l'eau à 55 millimètres. Le mouvement du camphre s'arrêta et il fut rétabli de nouveau en faisant tourner la colonne d'eau sur elle-même. Je portai la hauteur de l'eau à 66 millimètres; nouvel arrêt du mouvement du camphre et subséquemment nouveau rétablissement de ce mouvement par la rotation de la colonne d'eau. Les mêmes phénomènes d'arrêt et de rétablissement du mouvement du camphre eurent lieu à la profondeur d'eau de 82, de 116 et de 150 millimètres. Enfin je portai cette profondeur de l'eau à 190 millimètres; le vase était presque plein: le mouvement du camphre s'arrêta; et je n'agitai point le vase pour rétablir ce mouvement; je voulais voir s'il se rétablirait spontanément ainsi que cela était arrivé dans l'expérience rapportée plus haut. J'observai ce vase pendant sept jours en mettant chaque jour une parcelle de camphre à la surface de l'eau qu'il contenait. Cette parcelle de camphre demeura constamment immobile. Une parcelle de savon fit voir la même immobilité. Au milieu du septième jour, désespérant de voir l'eau récupérer spontanément la propriété en vertu de laquelle le camphre peut se mouvoir à sa surface, j'imprimai le mouvement de rotation à la colonne d'eau. A l'instant le camphre commença à se mouvoir vivement. Ce mouvement s'abolit spontanément après avoir duré pendant six heures. La température avait varié de + 10 à + 12° cent. pendant les sept jours qu'avait duré cette expérience. Pensant que peut-être je n'avais pas attendu assez long-temps pour voir le mouvement du camphre se rétablir spontanément à la surface de l'eau qui remplissait mon éprouvette, je jetai l'eau qu'elle contenait et je la remplis de nouvelle eau versée sans collision; le camphre, comme à l'ordinaire, demeura immobile à la surface de cette

eau. J'observai cette immobilité pendant huit jours et enfin le neuvième jour le camphre commença à se mouvoir. La température avait varié de + 10°,5 à + 13° cent. pendant la durée de cette expérience. La température ayant baissé quelques jours après à + 3°, le mouvement du camphre cessa de se montrer à la surface de l'eau qui remplissait cette éprouvette, mais il se rétablit spontanément le lendemain par une température de + 4°. Je donnerai suite plus bas (56) à cette expérience.

» **32**. J'ai répété plusieurs fois ces expériences en employant des éprouvettes de diverses dimensions et j'ai obtenu des résultats analogues. J'ai vu constamment qu'en versant de l'eau dans ces vases de manière à ce que ce liquide éprouvât une collision, le mouvement du camphre avait lieu quelle que fût la hauteur de l'eau, tandis qu'en y versant ce liquide sans collision, le mouvement du camphre cessait constamment de se montrer avant que la profondeur de l'eau eût atteint l'étendue du diamètre du vase. J'ai expérimenté que ce mouvement pouvait être rétabli non-seulement en imprimant à la colonne d'eau un mouvement de rotation qui la faisait frotter contre les parois du vase, mais aussi en inclinant et en redressant alternativement ce même vase non entièrement plein, ce qui faisait également frotter la colonne d'eau contre ses parois; ce frottement avait lieu ici du bas en haut et du haut en bas. Ainsi il ne me paraît pas douteux que ce ne soit le frottement de l'eau contre les parois du vase qui produit artificiellement le rétablissement du mouvement du camphre lorsqu'il est aboli par le fait de la trop grande profondeur relative de l'eau.

» **33**. On ignore pourquoi, par le seul fait de sa trop grande profondeur relative, l'eau perd la propriété de présenter le mouvement du camphre à sa surface; on ne sait pas davantage pourquoi ni comment elle se modifie, avec le temps, pour récupérer cette même propriété. Toutefois ces faits prouvent que le mouvement du camphre sur l'eau ne peut avoir lieu sans une *action* particulière de ce liquide, *action* inconnue dans sa nature, et sous l'influence exclusive de laquelle le camphre développe sa force électrique, qui est la cause immédiate de son mouvement. Pour ne rien admettre ici au-delà de ce que démontre l'expérience, je me bornerai à ce nom vague *d'action* pour indiquer la force particulière qui, selon les circonstances, se trouve présente dans l'eau ou s'en trouve absente. Je désignerai sous les noms également vagues *d'activité* et *d'inactivité* l'existence et la non-existence dans l'eau de la force inconnue dont il est ici question. L'eau sera *active* ou *inactive* suivant qu'elle possédera ou ne possédera pas cette force particulière, qui est encore un des secrets de la nature. Toutefois les expériences qui seront exposées plus bas porteront à admettre que

cette force émane des parois du vase. Déjà les expériences précédentes se montrent favorables à cette hypothèse, en nous apprenant que l'eau possède d'autant moins *d'activité* que sa profondeur est plus grande relativement à la largeur du vase qui la contient. En effet, dans un vase cylindrique l'étendue des parois baignées par l'eau et la profondeur, ou, ce qui revient au même, la masse de ce liquide, sont dans un rapport proportionnel d'autant plus faible que cette profondeur ou cette masse sont plus grandes. La plus simple réflexion suffit pour se convaincre de cette vérité. L'étendue immergée des parois verticales croît comme la profondeur ou comme la masse de l'eau ; mais il reste à considérer l'étendue de la paroi circulaire du fond du vase; étendue dont le rapport avec la profondeur ou la masse du liquide diminue d'autant plus que cette profondeur ou cette masse deviennent plus grandes; ainsi la masse totale de l'eau que contient le vase cylindrique correspond proportionnellement à une surface pariétale d'autant moindre que cette masse est plus accrue. Or, dans ce même vase *l'activité* de l'eau devient aussi d'autant moindre que la masse ou la profondeur de ce liquide sont plus accrues. Il y a donc là, très évidemment, un rapport entre le degré de *l'activité* de l'eau et l'étendue des parois immergées. Ceci commence à mettre sur la voie d'admettre que cette *activité* est communiquée à l'eau par un *action* particulière qu'exercent sur elle les parois du vase qui la contient, *action* qui éprouve ait d'autant plus de difficulté pour se faire sentir à toute la masse du liquide que cette masse serait plus grande relativement à l'étendue des parois desquelles cette action est supposée émaner. On concevrait ainsi pourquoi la trop grande profondeur relative de l'eau prive ce liquide de son *activité;* quant au retour spontané de cette *activité,* retour qui s'effectue après un certain temps écoulé, on concevrait que *l'action* inconnue exercée par les parois du vase sur l'eau mettrait un certain temps à se propager dans une masse de liquide trop considérable, où elle se trouve affaiblie, parce qu'elle se trouve trop divisée. L'expérience m'a fait voir que *l'activité* de l'eau se trouvant abolie par le fait de la trop grande profondeur relative de ce liquide, le retour spontané de cette *activité* n'a point lieu aussi promptement lorsque la température est basse que lorsqu'elle est élevée, et que cette *activité* cesse même d'exister après s'être établie, si la température vient à s'abaisser jusqu'au voisinage du zéro du thermomètre (**31**). Ce dernier fait prouve bien évidemment l'influence abolissante qu'exerce le froid sur *l'activité* de l'eau; et, dans l'hypothèse que cette *activité* serait produite par une *action* des parois du vase, ce fait prouverait que cette *action* est affaiblie par le froid.

» 34. Actuellement je vais faire voir que les vases vitreux peuvent, par certains procédés, être rendus *inactifs*, c'est-à-dire que l'eau qu'ils contiendront cessera de pouvoir présenter le mouvement du camphre, du moins temporairement et cela à des profondeurs d'eau très inférieures à celles qui, dans l'état naturel, laissent exister librement ce mouvement. Cela prouvera ce que les expériences précédentes n'ont fait que faire soupçonner, savoir : l'existence d'une *action* de nature inconnue, qui est exercée sur l'eau par les parois des vases qui la contient et sans laquelle le mouvement du camphre à la surface de ce liquide ne peut exister.

» 35. J'ai dit, au commencement de ce Mémoire, que, dans mes recherches, j'avais marché de la physiologie à la physique, transportant dans la dernière de ces sciences les expériences que j'avais faites dans la première; j'avais fait subir au chara diverses épreuves qui avaient exercé de l'influence sur son mouvement de circulation; il s'agissait, pour moi, de savoir si le mouvement du camphre, placé sur l'eau dans des cupules de verre ou de porcelaine, étant soumis aux mêmes épreuves, j'obtiendrais les mêmes résultats. Dans le soupçon que j'avais conçu touchant l'identité de ces deux phénomènes, l'un physiologique et l'autre physique, je comparais *l'appareil physiologique* du chara à *l'appareil physique* qui me servait à observer les mouvements du camphre. Ce dernier appareil se compose, 1° du vase; 2° du liquide aqueux qu'il contient; 3° d'une ou de plusieurs parcelles de camphre qui se meuvent à la surface du liquide, et qui, lorsqu'elles sont fixées, impriment du mouvement à ce même liquide. *L'appareil physiologique* du chara se compose de même de trois parties: 1° d'un vase qui est le mérithalle tubuleux; 2° d'un liquide aqueux tenant en suspension des globules ou granules inertes; 3° de globules verts fixés en séries longitudinales et spiralées sur les parois intérieures du vase tubuleux, et que je considère comme des *corps camphoroïdes*, ayant, en vertu de leur électricité, le pouvoir d'imprimer du mouvement au liquide avec lequel ils sont en contact. On sait que la matière verte des végétaux est une substance *résinoïde*; sa nature se rapproche, par conséquent, de celle des corps combustibles huileux ou résineux qui sont susceptibles de prendre un état électrique lors de leur contact avec l'eau. Mais pour que l'analogie que j'établis ici en considérant les globules verts comme des corps camphoroïdes soit fondée, il faut que la matière verte et résinoïde qu'ils contiennent soit soluble dans l'eau. Or l'expérience la plus vulgaire prouve qu'effectivement la matière verte des végétaux est un peu soluble dans l'eau, bien que cette même matière, obtenue à l'état de pureté sous le

nom de *chlorophylle*, soit complétement insoluble dans ce liquide. En effet, les infusions aqueuses des feuilles prennent ordinairement une teinte verdâtre qui quelquefois est assez intense. La chorophylle, qui est insoluble dans l'eau lorsqu'elle est pure, est donc un peu soluble dans ce liquide lorsqu'elle est unie à certains autres principes végétaux. Cette solubilité dans l'eau de la matière verte végétale, jointe à sa nature résinoïde, m'autorise donc à la considérer comme un *corps camphoroïde* susceptible de donner naissance, comme le camphre, à une électricité motrice. Or l'expérience m'a prouvé que la force qui meut le liquide circulant du chara émane des globules verts avec lesquels ce liquide est en contact. Il est donc infiniment probable que cette force est *camphoro-électrique*. L'assertion que j'émets ici comme une probabilité sera complétement démontrée lorsque j'aurai fait voir que la force par laquelle le camphre se meut sur l'eau, et par conséquent meut l'eau elle-même, et la force par laquelle les globules verts du chara meuvent le liquide qui les touche, sont soumises aux mêmes lois, qu'elles se comportent exactement de la même manière lorsqu'on les soumet aux mêmes épreuves. Je vais donc mettre en parallèle les expériences que j'ai faites sur *l'appareil physiologique* et celles que, par imitation, j'ai faites sur *l'appareil physique*.

» **36.** J'ai expérimenté que, lorsqu'on gratte un mérithalle de chara avec un instrument tranchant et qu'on enlève ainsi sa partie superficielle opaque, que je considère comme son écorce, cette action mécanique occasionne la suspension de la circulation, qui ne se rétablit qu'un certain temps après, et cela par l'effet d'une *réaction*. Il est évident que cette action mécanique n'intéresse ici que *le vase* de l'appareil physiologique: lui seul est lésé; les deux autres parties de *l'appareil physiologique* demeurent intactes. De prime abord on est porté à penser que cette expérience ne peut être imitée avec ce que j'ai nommé *l'appareil physique*. En effet, dans *l'appareil physiologique*, la lésion du *vase*, c'est-à-dire du mérithalle tubuleux, a agi sur la *sensibilité organique* (1) d'un corps vivant, et c'est

---

(1) C'est bien à tort que les physiologistes ont employé ce mot *sensibilité* pour exprimer la faculté en vertu de laquelle les organes des êtres vivants sont modifiés par certains agents qui leur sont extérieurs, sans qu'il y ait de *sensation* par suite de la modification que ces agents produisent. M. Flourens a le premier banni cette expression de la physiologie et lui a substitué celle d'*excitabilité*. Cette propriété, qui appartient aux végétaux comme aux animaux, est tout-à-fait distincte de la *sensibilité*. L'emploi vicieux de ce dernier mot pour exprimer les phénomènes de l'*excitabilité* a fourni, fort

par suite de la modification imprimée à cette *sensibilité organique* que la *force vitale* à laquelle est dû le mouvement circulatoire a suspendu son action. Ne paraît-il pas absurde de vouloir imiter ces phénomènes *vitaux* avec un appareil physique? Malgré cette apparente absurdité, je n'ai pas hésité à tenter en physique l'imitation du phénomène physiologique dont il est ici question, tant j'étais persuadé que tous les phénomènes vitaux des végétaux ne sont que des phénomènes physiques. Pour imiter l'expérience physiologique avec mon *appareil physique,* il ne s'agissait donc ici que de faire éprouver de même *au vase* une action mécanique capable de lui enlever une partie de sa matière composante. Cette action mécanique se trouve facilement dans l'emploi d'un frottement rude.

» **37.** Une cupule de porcelaine de 50^{mm} de diamètre et de 34^{mm} de profondeur offrait constamment le mouvement du camphre sur la surface de l'eau versée sans collision ou avec collision dans sa cavité, et cela à toutes les hauteurs de ce liquide. Je frottai rudement ses bords pendant 7 minutes sur du sable fin et mouillé étendu sur une tablette de marbre. Ce frottement usa un peu les bords de la cupule, que je remplis immédiatement d'eau versée sans collision. Une parcelle de camphre, mise à la surface de cette eau, y demeura complétement immobile. La température était alors à + 14° cent. Cette immobilité du camphre persista pendant 45 minutes. Alors la parcelle de camphre commença à osciller sans changer de place; 55 minutes après, son mouvement de progression commença à s'établir lentement, et enfin, 3 heures après le commencement de l'expérience, le mouvement du camphre était devenu très rapide. Ainsi le rude frottement qui avait usé les bords de la cupule de porcelaine avait rendu ce vase *inactif;* il n'exerçait plus sur l'eau qu'il contenait *l'action* inconnue en vertu de laquelle cette eau possédait auparavant la propriété d'offrir le mouvement du camphre placé à sa surface. Ainsi l'eau était devenue *inactive* par suite de l'*inactivité* du vase qui la contenait. Mais cet état d'*inactivité* du vase ne fut que temporaire et ce vase redevint *actif* par une *action* spontanée et que je considère comme une *réaction;* dès lors l'eau qu'il contenait reprit aussi son *activité,* et le camphre prit son mouvement ordinaire à sa surface.

---

mal à propos, des armes à ceux qui accusent de matérialisme les physiologistes qui cherchent dans la Physique l'explication des phénomènes vitaux généraux, phénomènes qui appartiennent aux végétaux comme aux animaux. Le spiritualisme n'a point à s'inquiéter de ces recherches.

» **38.** J'ai répété quatre fois cette expérience dans des jours différents et avec les mêmes résultats. Je ferai observer que cette cupule de porcelaine avait le fond plat. Je fais cette remarque parce que, ayant fait un assez grand nombre d'expériences analogues en employant des cupules de verre, je n'ai obtenu des résultats semblables que lorsque ces cupules avaient le fond plat ou convexe; le frottement le plus prolongé sur le sable n'a pu frapper d'*inactivité* des cupules de verre dont le fond était concave. On verra, dans la suite de ce Mémoire, que ce n'est pas là le seul cas où la forme concave du fond du vase de verre aura influé d'une manière marquée sur le mouvement du camphre placé à la surface du liquide aqueux contenu dans ce vase. Je ferai encore observer que les cupules, pendant que je les frottais sur le sable, étaient saisies au moyen d'un certain mécanisme, en sorte qu'elles n'étaient point échauffées par le contact de la main. Je ne rapporterai pas ici toutes les expériences que j'ai faites pour frapper d'*inactivité* des cupules de verre en frottant leurs orifices sur du sable. Je choisis parmi elles celle qui est la plus marquante.

» **39.** Une cupule de verre, faite avec un verre à boire cylindrique diminué de hauteur, ayant 58 millimètres de diamètre et 28 millimètres de profondeur, ayant son fond bien régulièrement convexe, et fort épaisse dans ses parois, fut frottée rudement, par son orifice, sur du sable fin, pendant cinq minutes; elle fut immédiatement remplie d'eau versée sans collision. Une parcelle de camphre placée à la surface de cette eau, y demeura parfaitement immobile. Ce vase était devenu *inactif;* je fais observer qu'avant l'opération qu'il avait subie il était parfaitement *actif;* le camphre se mouvait avec rapidité sur l'eau versée sans collision qui le remplissait : au bout de vingt-quatre heures l'immobilité du camphre continuait d'exister; la température avait varié de +12 à 14 degrés centigrades. Je n'avais pas encore observé une *inactivité* d'aussi longue durée dans plusieurs expériences semblables que j'avais faites antérieurement avec cette même cupule de verre. Il se pouvait que cet effet fût dû à quelque substance dissoute accidentellement dans l'eau qui remplissait ce vase. Je la jetai et je remplis de nouveau la cupule avec de l'eau versée sans collision; une autre cupule de verre placée à côté fut remplie de la même eau, et de même sans collision. Je me servais pour cela, ainsi que je l'ai dit plus haut, d'un entonnoir de verre à bec très effilé, que je tenais plongé dans l'eau, qui s'élevait ainsi très lentement dans le vase et sans aucune collision. Le camphre continua à demeurer immobile dans la cupule frottée sur le sable; il offrit un mouvement rapide dans la cupule placée à côté.

Ainsi il n'y avait ni dans l'eau ni dans l'air environnant aucune cause qui pût empêcher le camphre de se mouvoir. L'absence continuée du mouvement du camphre dans la cupule de verre frottée sur le sable, provenait donc incontestablement de l'*inactivité* de ce vase. La nouvelle eau placée dans ce vase *inactif* m'offrit encore l'immobilité non discontinuée du camphre au bout de vingt-quatre heures; il y avait ainsi deux jours entiers que ce vase était *inactif*. La température se tenait toujours entre +13 et 14 degrés centigrades; alors j'ôtai doucement de l'eau, avec une pipette, jusqu'à ce que sa hauteur fût réduite à 20 millimètres. Le camphre prit un léger mouvement qui cessa tout-à-fait au bout de deux à trois minutes. Je diminuai de nouveau la hauteur de l'eau, jusqu'à ce qu'elle fût réduite à 15 millimètres. Le camphre prit alors un mouvement vif, mais qui cessa au bout de cinq minutes. Je réduisis la hauteur de l'eau à 8 millimètres; le camphre prit un mouvement très vif, mais qui s'abolit au bout de vingt-cinq minutes. Alors je jetai le peu d'eau qui restait, et je remplis la cupule avec de nouvelle eau versée sans collision. Le camphre demeura immobile à sa surface. Voyant cette *inactivité* si obstinée du vase, je jetai l'eau qui le remplissait, je le lavai à grande eau en le frottant avec les doigts, et ensuite je le remplis d'eau versée sans collision. Le camphre continua à demeurer immobile. Je jetai l'eau qui remplissait ce vase, et je le remplis de nouveau avec de l'eau versée de haut, et par conséquent éprouvant de la collision. Je fus très surpris de voir le camphre demeurer encore immobile à sa surface; et cependant à côté de ce vase, et avec la même eau dans une autre cupule de verre, j'observais le vif mouvement du camphre. La température était alors à +13°,5. Je laissai dans le vase si obstinément *inactif* l'eau que j'y avais versée avec collision, et cinq heures après je commençai à voir le camphre osciller légèrement à la surface de cette eau. Dans les heures suivantes le camphre prit un mouvement lent de progression, et ce ne fut qu'au matin par lequel finissait le troisième jour de l'expérience, que je trouvai le mouvement du camphre devenu très vif à la surface de l'eau contenue dans ce vase, qui avait complétement et spontanément repris son *activité*. La température était alors à +13 degrés.

» **40.** J'ai rapporté cette expérience dans le plus grand détail, parce que j'ai dû faire voir que j'avais écarté ici toutes les causes de déception, et qu'elle prouve péremptoirement l'existence de l'*inactivité* du vase produite par le frottement de son orifice sur du sable. Au reste il est rare, dans les expériences de ce genre, que cette *inactivité* soit aussi prolongée

et aussi obstinée. La plupart du temps elle ne dure que pendant quelques heures, et même elle disparaît de suite en remplissant le vase d'eau versée avec collision, ce qui n'est pas arrivé dans l'expérience précédente. En outre, cette *inactivité* du vase n'est pas toujours aussi complète qu'elle l'a été dans cette même expérience ; en sorte que le mouvement du camphre qui a cessé de se montrer, se renouvelle et persiste lorsque la hauteur de l'eau est plus ou moins réduite. Dans l'expérience précédente ce mouvement s'est manifesté lors de la réduction de la hauteur de l'eau, mais il n'a pas persisté. Je pense que le rétablissement temporaire de ce mouvement provenait de l'*activité* rendue temporairement à l'eau par son frottement sur elle-même dans l'action de la soutirer avec la pipette. On a déjà vu plus haut (29) un phénomène semblable. Cet effet transitoire étant passé, l'eau retombait sous l'influence exclusive du vase qui la contenait, et qui était profondément frappé d'*inactivité;* lorsque cette *inactivité* est moins complète, elle n'existe que relativement à une certaine hauteur d'eau dans le vase, elle n'existe point pour les hauteurs d'eau inférieures. C'est, en se réduisant à de plus petites proportions de profondeur d'eau, le même phénomène que celui que j'ai exposé plus haut (29) touchant la propriété que possèdent les vases de verre cylindriques, dans leur état naturel d'*activité,* de n'offrir le mouvement du camphre à la surface de l'eau qu'ils contiennent, que lorsque la profondeur de cette eau est réduite à une limite déterminée, ce mouvement demeurant aboli lorsque la profondeur de l'eau dépasse cette limite : or la limite qui sépare les hauteurs d'eau qui permettent l'existence du mouvement du camphre, et les hauteurs d'eau qui s'opposent à ce même mouvement dans le vase *actif,* se trouve considérablement abaissée dans le même vase devenu plus ou moins *inactif.* Ainsi l'*inactivité* des vases n'est point absolue; elle consiste dans la diminution plus ou moins grande de leur *activité* naturelle.

» **41.** Je fais observer ici que plus les vases de terre ou de porcelaine sont petits, plus il est facile de les rendre *inactifs* en frottant leurs orifices sur du sable. On ne parvient point à produire ce phénomène avec des vases un peu grands. La raison en est facile à apercevoir. En premier lieu, il est évident que le rude frottement auquel est soumis l'orifice du vase se communique d'autant plus facilement à toute la masse de ce vase, que celui-ci est plus petit; en second lieu l'*activité* du vase exerçant une influence sur l'*activité* de l'eau qu'il contient, on comprend facilement que cette influence des parois du vase sur l'eau sera d'autant plus marquée, que le vase sera plus petit, puisque dans des vases de même forme le rapport qui

existe entre l'étendue des parois en contact avec l'eau et le volume de ce liquide croît avec la diminution de grandeur de ces vases.

» **42.** La suspension du mouvement du camphre sur l'eau contenue dans un vase dont l'orifice a été rudement frotté et usé, est un fait physique qui se rapproche naturellement du fait physiologique de la suspension de la circulation chez le chara par l'action de gratter et d'user les parois de l'un de ses mérithalles. Dans l'expérience physique le rude frottement du vase a porté atteinte à son *activité*, et par suite le mouvement du camphre a été suspendu; l'analogie nous indique ici que la suspension de la circulation chez le chara doit provenir de même d'une atteinte portée par le rude frottement à l'*activité* du mérithalle, considéré ici comme vase tubuleux. Ainsi ce vase est *actif* dans son état naturel, et c'est en vertu de cette *activité* qu'il exerce une influence sur l'*activité* du liquide qu'il contient; ce liquide, à son tour, en vertu de l'*activité* qu'il possède, détermine dans les globules verts ou *corps camphoroïdes* fixés aux parois intérieures du vase tubuleux, la production de l'électricité qui imprime à ce même liquide le mouvement circulatoire. Il résulte de ce rapprochement de faits, que ce que l'on nomme la *sensibilité organique* chez le végétal n'est autre chose que la faculté que possède la force mystérieuse à laquelle j'ai donné le nom vague et provisoire d'*activité*, d'être modifiée par certaines actions venant du dehors. Je sais que cette assertion, basée sur ce rapprochement unique de faits, peut paraître hasardée; mais on la verra confirmée par tant d'autres preuves d'un autre genre, qu'on ne pourra se dispenser de reconnaître qu'elle est fondée.

» **43.** Le mouvement circulatoire, chez le chara, est augmenté de vitesse par l'élévation de la température dans certaines limites; la vitesse de ce mouvement est diminuée lorsque la température s'abaisse jusqu'au voisinage du zéro du thermomètre. Le mouvement du camphre sur l'eau présente exactement les mêmes phénomènes. En général, plus la température atmosphérique est élevée, plus le mouvement du camphre sur l'eau qui possède une profondeur convenable est vif. J'ai vu ce mouvement acquérir une vivacité extrême par l'échauffement de l'eau et du vase au moyen de leur exposition aux rayons solaires. L'échauffement du vase au moyen du feu ne produit pas le même effet; il se produit, dans cette circonstance, des phénomènes que je n'ai point encore assez étudiés. J'ai fait voir plus haut (**29**) que le mouvement du camphre sur l'eau cesse d'avoir lieu lorsque la profondeur de ce liquide, versé sans collision, n'est pas dans un certain rapport avec le diamètre du vase qui le contient. Or j'ai observé que des

cupules de verre et de porcelaine qui, étant remplies d'eau versée sans collision, présentaient le vif mouvement du camphre à la surface de cette eau lorsque la température était supérieure à + 6 degrés, n'offraient plus ce mouvement qu'extrêmement lent, lorsque la température était plus basse, et ne l'offraient plus du tout lorsque la température était abaissée à + 2 degrés. Les mêmes raisons que celles qui ont été exposées plus haut (41) font que plus les vases sont petits, plus cet effet devient sensible; ainsi une cupule de verre de 30 millimètres de diamètre et de 18 millimètres de profondeur, m'a offert constamment le mouvement du camphre à la surface de l'eau versée sans collision qui la remplissait, et cela tant que la température a été supérieure à + 6 degrés. A cette température, le mouvement du camphre est devenu faible et n'a plus consisté que dans une simple oscillation. La température ayant baissé à + 2 degrés, le camphre est demeuré complétement immobile dans cette cupule, et il m'a fallu diminuer la profondeur de l'eau de 10 millimètres, pour voir renaître le mouvement du camphre. La cupule de porcelaine de 50 millimètres de diamètre et de 34 millimètres de profondeur qui a servi à une expérience rapportée plus haut (37), et qui, par une température de + 5 degrés, remplie d'eau versée sans collision, offrait encore le mouvement du camphre, a cessé de présenter ce mouvement lorsque la température s'est trouvée descendue à + 2 degrés. Il m'a suffi alors de diminuer la profondeur de l'eau de 4 millimètres seulement pour voir renaître le mouvement du camphre. Ainsi l'abaissement de la température diminue l'*activité* de l'eau et probablement aussi celle du vase qui la contient. Alors ce liquide cesse d'être *actif* à une profondeur à laquelle il possédait précédemment l'*activité* lorsque la température était plus élevée, et pour voir renaître cette *activité* il ne s'agit que de diminuer la profondeur de l'eau. Ce fait est en harmonie avec ceux par lesquels j'ai déjà établi plus haut (29) que la diminution de la profondeur de l'eau favorise l'établissement du mouvement du camphre à sa surface, en sorte que l'*activité* de l'eau étant trop faible pour que ce mouvement puisse exister, il ne s'agit que de diminuer la profondeur de ce liquide pour qu'il acquière, par cela seul, une *activité* suffisante pour l'établissement du mouvement du camphre à sa surface. Le camphre est, si je puis m'exprimer ainsi, un *activiscope* qui, par la vivacité ou la lenteur de son mouvement, annonce le degré fort ou faible de l'*activité* de l'eau, et qui par son immobilité sur l'eau, indique que cette *activité* a disparu dans ce liquide, ou plutôt a descendu au-dessous du degré nécessaire pour l'existence du mouvement de cet *activiscope*.

» **44.** Mes expériences ont fait voir que lorsqu'on fait subir au chara une variation de température brusque et qui comprenne au moins 25° cent., le mouvement circulatoire s'arrête et se rétablit ensuite spontanément par réaction, environ une heure après. Dans cette expérience l'*appareil physiologique* tout entier est soumis à l'effet de la brusque et considérable variation de température. Je ne pouvais soumettre à la même épreuve la totalité de mon *appareil physique*, c'est-à-dire le vase, l'eau et le camphre. Dans cet appareil le vase seul pouvait être soumis à cette expérience et je l'ai tentée, non sans espoir de succès, sachant déjà, par de précédentes expériences, que certaines actions physiques exercées sur le vase le privaient de son *activité*, de manière à ce que l'eau qu'on y versait ensuite sans collision se trouvait elle-même également privée d'*activité*; alors le mouvement du camphre n'avait point lieu à sa surface, et cela l'eau ayant une profondeur qui, dans l'état naturel, favorisait auparavant l'établissement de ce mouvement.

» **45.** La cupule de porcelaine dont il a été question plus haut (**37**) ayant été remplie d'eau, je la plaçai sur la flamme de l'alcool jusqu'à ce que l'eau fût en ébullition. Alors jetant cette eau bouillante, je plongeai brusquement la cupule dans de l'eau dont la température était, comme celle de l'atmosphère, à + 15° cent. Lorsque ce vase fut refroidi à cette température, je le retirai et je le remplis d'eau versée sans collision et à la température de + 15°. Le camphre demeura immobile à la surface de cette eau. Cette immobilité persista pendant deux heures vingt minutes. Alors le camphre commença à manifester une légère oscillation sans changer de place. Ce mouvement devint peu à peu plus prononcé, et deux heures après il était devenu rapide. J'ai répété trois fois cette expérience avec cette même cupule de porcelaine et à des jours différents, j'ai constamment obtenu le même résultat, variable seulement par la durée du temps pendant lequel la cupule a été privée de son *activité* par l'effet du brusque et considérable changement de température qu'elle avait subi. Ayant une autre fois fait bouillir de l'eau dans la même cupule de porcelaine et l'ayant laissée se refroidir lentement après l'avoir vidée, l'eau dont je la remplis lorsqu'elle fut refroidie offrit immédiatement le mouvement du camphre. Ici tous les changements de température avaient été lents; le vase s'était échauffé et s'était refroidi lentement, et par suite de cette lenteur dans les changements de sa température il avait conservé son *activité*, tandis qu'il l'avait perdue, dans certaines limites du moins, par l'effet d'une transition brusque de la température de l'eau bouillante à celle de + 15°,

transition qui comprenait ainsi 85°. J'ai fait des expériences analogues avec la très petite cupule de verre dont il a été question plus haut, et qui a 30 millimètres de diamètre et 18 millimètres de profondeur. J'ai mis cette cupule dans un vase rempli d'eau dont j'ai élevé la chaleur jusqu'à l'ébullition. Alors tirant cette cupule de l'eau bouillante, je l'ai plongée dans de l'eau dont la température semblable à celle de l'atmosphère était de + 12°. Lorsque je la jugeai refroidie, je la retirai et je la remplis d'eau à + 12° versée sans collision. Le camphre demeura immobile à sa surface; ce ne fut que dix minutes après qu'il commença à offrir un mouvement d'oscillation et son mouvement vif ne fût bien rétabli qu'au bout de deux heures.

» **46.** Une expérience d'un autre genre est encore venue confirmer ces résultats. Après m'être bien assuré de la profondeur d'eau à laquelle le camphre offrait constamment son mouvement dans un verre à boire cylindrique et par la température de + 21°, je pratiquai une fissure à ce vase en l'exposant latéralement à la flamme du chalumeau. A l'aide de cette même flamme, et par un procédé connu, je prolongeai cette fissure jusque dans le milieu du fond épais de ce vase que, je laissai ensuite se refroidir lentement à l'air pendant deux heures et quart. Alors j'y versai, sans collision, de l'eau jusqu'à la hauteur à laquelle le mouvement du camphre avait constamment lieu auparavant. La fissure ne laissait point échapper l'eau de manière à en abaisser sensiblement le niveau. Je mis sur cette eau une parcelle de camphre qui y demeura immobile pendant une heure et demie; alors il commença à osciller, mais la vivacité de son mouvement ne fut rétablie que plus de deux heures après. Dans cette expérience l'échauffement seul avait été brusque, le refroidissement avait été lent.

» **47.** Il résulte de ces expériences que les brusques et considérables changements de température rendent les vases de porcelaine et de verre *inactifs* pour un certain temps; leur *activité* se rétablit ensuite spontanément par *réaction*.

» **48.** Ces phénomènes sont évidemment analogues à ceux que présente le chara soumis à de brusques et considérables changements de température. On voit, en effet, dans cette expérience physiologique, comme dans les expériences physiques qui viennent d'être exposées, abolition d'un mouvement qui était produit par un corps camphoroïde, et rétablissement spontané de ce même mouvement par l'effet d'une réaction; l'analogie doit donc porter à penser que dans l'*appareil physiologique* du chara, c'est le

vase ou le mérithalle tubuleux qui est frappé d'*inactivité* par le brusque et considérable changement de température. La circulation n'est point abolie chez le chara lorsque les changements de température auxquels il est soumis sont lents; il en est de même du mouvement du camphre, qui n'est point aboli dans les vases vitreux qui ont subi des changements de température très considérables, mais lents.

» **49.** Dans la dernière des expériences rapportées précédemment (**46**) j'ai attribué l'*inactivité* du vase au seul fait de son échauffement brusque et considérable; il se pourrait néanmoins que le fait de la fracture de ce vase intervînt aussi dans la production de cette *inactivité;* car il me paraît que toutes les *lésions matérielles* des vases vitreux produisent chez eux cet effet, comme il est produit chez le chara par toutes les *lésions organiques.* Ainsi une piqûre suffit pour abolir la circulation chez le chara. J'ai expérimenté qu'en enfonçant la pointe d'une aiguille dans un mérithalle de chara, de manière à ce que cette pointe pénètre infiniment peu dans sa cavité tubuleuse et ne gêne point ainsi le mouvement circulatoire du liquide, ce mouvement ne laisse pas de s'arrêter au bout de cinq minutes, et cela sans retour. Comment la piqûre a-t-elle agi pour abolir cette circulation? Est-ce par suite de la *lésion organique* faite au mérithalle considéré comme *vase,* ou bien est-ce par l'influence du contact de l'aiguille avec le liquide circulant? Pour résoudre ces questions il fallait, suivant le plan que je me suis tracé, transporter dans la physique cette expérience physiologique; mais l'action de percer un corps mou tel qu'une tige de chara ne peut être imitée par le percement d'un vase de verre ou de porcelaine; et quoique j'aie l'intime conviction que la *lésion organique* qu'éprouve le chara, lorsqu'on pique sa tige, produise l'*inactivité* de cette *tige-vase,* de la même manière qu'une *lésion matérielle* quelconque produirait le même effet dans un vase vitreux, toutefois je sens qu'il m'est impossible de chercher ici à établir dans la physique une expérience analogue à celle que j'ai faite dans la physiologie. J'abandonne donc la considération de l'*inactivité* qui peut être produite dans le mérithalle tubuleux du chara, lorsqu'on traverse l'une de ses parois avec une aiguille; mais il me reste à étudier l'effet qui peut être produit par le contact de l'aiguille avec le liquide circulant que contient ce mérithalle tubuleux. Ici l'expérience physiologique pourra être transportée dans la physique, et cette étude va nous dévoiler une nouvelle série de phénomènes.

» **50.** Les expériences précédentes ont prouvé que les vases exercent sur l'eau qu'ils contiennent une influence que j'ai désignée par le nom vague

d'*action*, et sans l'existence de laquelle le camphre ne prendrait point d'électricité et par conséquent point de mouvement à la surface de cette eau. L'*action* qu'exerce le vase sur l'eau qu'il contient a lieu nécessairement de l'extérieur de la masse liquide vers son intérieur ; elle peut être considérée comme *convergente*. Qu'arriverait-il en soumettant ce même liquide à une *action* semblable qui partirait de son milieu, et qui, par conséquent, serait divergente? Voici ce que répond l'expérience. Une cupule cylindrique de verre de 60 millimètres de diamètre et de 22 millimètres de profondeur offrait constamment le mouvement du camphre à la surface de l'eau qui y était versée sans collision jusqu'à la remplir. J'y versai, seulement jusqu'à un peu plus de moitié de sa profondeur, de l'eau sur la surface de laquelle je plaçai une parcelle de camphre qui y prit un vif mouvement. La température était alors à + 15°; je plongeai au milieu de l'eau un flacon cylindrique de verre de 36 millimètres de diamètre, ce qui fit monter l'eau jusqu'aux bords de la cupule : le camphre devint immobile sur cette eau contenue entre les parois intérieures de la cupule et les parois extérieures du flacon immergé. Je retirai ce dernier, le camphre reprit son mouvement; je plongeai une seconde fois le flacon, le mouvement du camphre s'arrêta de nouveau. Cette double manœuvre répétée plusieurs fois produisit constamment les alternatives de la suspension du mouvement du camphre et du rétablissement de ce mouvement. Il paraîtrait donc que l'*action divergente* du flacon de verre immergé aurait contre-balancé et aboli l'*action convergente* que la cupule de verre exerçait sur l'eau, en sorte que ce liquide était devenu *inactif*. D'un autre côté on pourrait penser que l'immersion du flacon dans la cupule ayant réellement diminué l'étendue diamétrale de la surface de l'eau en augmentant beaucoup sa profondeur relativement à ce diamètre diminué, il en serait résulté le même effet que si l'eau eût été élevée dans un autre vase à une hauteur supérieure à l'étendue du diamètre de ce vase, cas auquel le mouvement du camphre cesse d'avoir lieu, ainsi que je l'ai fait voir plus haut (**29**). Effectivement j'ai expérimenté que, dans l'expérience instituée comme il vient d'être dit, le mouvement du camphre se rétablit lorsque je diminuai la profondeur de l'eau en aspirant celle-ci avec une pipette, jusqu'à ce que cette profondeur fût réduite à 15 millimètres, au lieu de 22 qu'elle avait, la cupule étant remplie. Cette preuve, qui paraît concluante en faveur de la dernière hypothèse que je viens d'émettre, ne l'est cependant pas, et l'on va voir que le corps vitreux immergé exerce effectivement, sur l'eau dans laquelle il est plongé, une *action* qui tend à contre-balancer et à ren-

dre nulle l'*action* inverse qu'exerce sur cette même eau le vase de verre qui la contient pour la rendre *active ;* on va voir que cette *action abolissante* ou *sédative* de l'*activité* est exercée de même par le corps vitreux immergé lorsque son accession n'opère aucun changement ni dans la profondeur de l'eau, ni dans son étendue diamétrale.

» **51**. Il n'est point nécessaire que les corps vitreux immergés aient la forme cylindrique, ni qu'ils occupent le milieu de l'eau, ni qu'ils soient plongés jusqu'au fond de ce liquide pour qu'ils y produisent cet effet *sédatif de l'activité* que je viens de faire connaître. Ainsi une boule de verre, soit creuse, soit massive, occupant une place quelconque dans l'eau, où elle est plongée en tout ou en partie, produira dans cette eau le même effet *sédatif de l'activité,* pourvu que le volume de sa partie immergée soit suffisant eu égard au volume de l'eau et au degré de son *activité*. Si le volume de l'eau est petit et que son *activité* soit faible, il suffira que la boule de verre touche seulement la surface de l'eau pour y suspendre à l'instant le mouvement du camphre. J'ai fait voir plus haut (**33**) que le froid est *sédatif de l'activité* de l'eau. Or j'ai expérimenté plusieurs fois que la température étant descendue à + 2 et 3 degrés, et l'eau placée dans de petites cupules de verre n'offrant que faiblement le mouvement du camphre, il me suffisait de faire toucher la surface de cette eau par une petite boule de verre, de même température qu'elle, pour arrêter à l'instant le mouvement du camphre, et ce mouvement se rétablissait lorsque je faisais cesser le contact de cette boule avec l'eau. Cette boule était suspendue à une petite crémaillère à l'aide de laquelle je pouvais régler à volonté son mouvement de descente ou d'ascension. Dans les cas où l'*activité* de l'eau ne pouvait pas être abolie par le simple contact de la boule de verre, je l'abolissais en faisant plonger plus ou moins cette boule dans l'eau. J'ai rendu cette expérience d'une exécution plus facile et plus certaine dans ses résultats par un procédé que je vais indiquer ici, quoique ce soit anticiper sur l'ordre que je me suis proposé de suivre dans l'exposition des faits. Lorsque l'eau tient en solution une substance quelconque, elle perd de son *activité*, en sorte qu'à une température d'une certaine élévation et à la même hauteur dans le même vase, elle peut ne pas posséder plus d'*activité* que l'eau pure d'une température basse, et la plupart du temps elle en possède bien moins. Une solution d'une partie de nitrate de potasse dans 29 parties d'eau ayant, comme l'air environnant, une température de + 21°, fut placée dans une cupule de verre de 65^{mm} de diamètre, et elle y fut élevée à la hauteur de 17^{mm}. Le mouvement du camphre ne

s'établit qu'au bout d'un certain temps à la surface de cette solution, dont la profondeur était trop grande pour l'établissement immédiat de ce mouvement. Or ce mouvement ayant fini par bien s'établir, je fis descendre doucement et jusqu'au contact de la surface de cette solution une boule de verre de 16^{mm} de diamètre. A l'instant de ce contact le mouvement du camphre fut suspendu. Je remontai un peu la boule de verre de manière à ce que, quoique plus élevée que la surface du liquide, elle y adhérait cependant encore, en vertu de son attraction, qui soulevait une goutte de ce même liquide; le camphre continua à demeurer immobile. Élevant davantage la boule de verre, je lui fis quitter l'adhérence de la solution; à l'instant le mouvement du camphre se rétablit à la surface de cette solution. Dans ces expériences il n'y avait point immersion, à proprement parler, de la boule de verre, elle ne faisait que toucher la surface de l'eau, et ce contact de très peu d'étendue ne changeait ni l'étendue diamétrale du liquide, ni sa profondeur. On ne peut donc se dispenser de reconnaître que ce corps vitreux a exercé ici par lui-même une action abolissante ou *sédative* sur l'*activité* du liquide avec lequel il a été mis en simple contact.

» **52.** Ainsi la matière vitreuse agit de deux manières opposées sur l'*activité* de l'eau, suivant qu'elle remplit à l'égard de ce liquide ou l'office de *vase contenant* ou celui de *corps immergé*. Dans le premier cas cette matière communique de l'*activité* à l'eau; dans le second cas elle tend à diminuer ou à abolir l'*activité* de ce liquide. L'*action* exercée sur l'eau par la matière vitreuse est à coup sûr la même dans ces deux cas, mais sa direction est inverse; l'*action* du vase et l'*action* du corps immergé considérées, la première comme *convergente* et la seconde comme *divergente*, s'aboliraient ainsi réciproquement par leur antagonisme, et l'*inactivité* de l'eau en serait la conséquence; mais cette *inactivité* n'est que temporaire, comme le démontre l'expérience suivante. Dans une cupule cylindrique de verre de 60^{mm} de diamètre et contenant de l'eau sur laquelle le camphre se mouvait, j'ai plongé un flacon cylindrique de 35 millimètres de diamètre. Cette immersion a fait monter l'eau jusqu'aux bords de la cupule qui avait 22 millimètres de profondeur, et le mouvement du camphre s'est arrêté. La température était alors à $+ 15^{\circ},5$. L'immobilité complète du camphre dura pendant une heure 40 minutes; alors il commença à osciller lentement sans changer de place; peu à peu ce mouvement s'accéléra, et deux heures environ après il était devenu rapide. Cependant rien ne paraissait changé dans les conditions de l'expérience; la température n'avait point varié. L'*activité* de l'eau, condition nécessaire du mouvement du

camphre, s'est donc rétablie malgré la présence continuée de la cause qui avait produit son abolition, ou, pour mieux dire, sous l'influence continuée de cette même cause. C'est ici surtout qu'est remarquable, qu'est évidente cette *réaction spontanée* déjà signalée plus haut (**37**, **47**). L'immersion du corps vitreux a pour effet direct l'abolition de l'*activité* de l'eau; mais avec le temps ce liquide s'est modifié spontanément, de manière à se soustraire à cette *action abolissante* ou *sédative* de son *activité*, et celle-ci s'est rétablie. Si l'on avait affaire ici à un être vivant, à un *appareil physiologique*, tel qu'une tige de chara, au lieu d'avoir affaire à un *appareil physique*, on dirait que cet être vivant *s'est habitué* à la cause qui d'abord l'avait influencé, et cela en se modifiant de manière à rendre nulle l'influence de cette cause qui n'a pas cessé d'être présente. C'est donc véritablement ici le phénomène physiologique de l'*habitude* trouvé dans la physique.

» **53**. J'ai répété souvent cette expérience en employant des corps vitreux de différentes grosseurs et de différentes formes, par exemple des boules de verre soit creuses, soit massives; toujours j'ai obtenu les mêmes résultats, c'est-à-dire abolition du mouvement du camphre lorsque le corps vitreux immergé avait un volume suffisant, et rétablissement spontané de ce mouvement après un certain temps, malgré la continuité de l'immersion du corps qui avait causé cette abolition. Quelquefois ce n'est qu'au bout de plus de 24 heures que j'ai observé le retour du mouvement du camphre aboli par l'immersion d'un corps vitreux resté à demeure dans l'eau; d'autres fois ce retour du mouvement du camphre ne s'est point montré, quoique long-temps attendu. Ces phénomènes de retard ou d'absence complète de la *réaction* dépendent des volumes réciproques de l'eau que contient le vase de verre et du corps vitreux immergé; plus ce dernier a de volume par rapport à l'eau, plus il a de puissance pour abolir l'*activité* de ce liquide. Plusieurs petits corps vitreux produisent à cet égard le même effet qu'un seul qui aurait une grosseur déterminée.

» **54**. Ce ne sont pas seulement les corps vitreux qui, par leur immersion dans l'eau, tendent à abolir *l'activité* de ce liquide. Des expériences fort nombreuses m'ont appris que tous les corps solides jouissent de la même propriété, mais à des degrés très différents. J'ai essayé à cet égard tous les corps solides que j'ai pu rencontrer soit minéraux, soit organiques. J'ai spécialement essayé les métaux; voici les principaux résultats de mes expériences.

» **55**. Les corps combustibles n'ont en général qu'à un très faible degré la propriété d'abolir *l'activité* de l'eau par leur immersion dans ce

liquide. Je dois dire même que je ne l'ai point observée dans le charbon, dont l'immersion dans l'eau, même sous un volume assez considérable, n'arrête point le mouvement du camphre et ne fait que diminuer la vitesse de ce mouvement. Parmi les métaux le zinc est celui qui possède au plus faible degré cette propriété d'abolir *l'activité* de l'eau. Le fer m'a paru posséder cette même propriété au plus haut degré parmi les métaux, et l'on verra que ce premier aperçu est fondé lorsque je rapporterai les expériences que j'ai faites à cet égard en employant, au lieu d'eau pure, l'eau qui tient certaines substances en solution. Je me bornerai ici à l'exposition d'une seule des expériences que j'ai faites sur la propriété que possède le fer d'abolir *l'activité* de l'eau dans laquelle il est plongé, cette expérience me paraissant digne, sous plus d'un rapport, de fixer l'attention.

» **56.** J'ai promis plus haut (**31**) de donner une suite à l'expérience dans laquelle une éprouvette de 57 millimètres de diamètre et de 194 millimètres de profondeur ayant été presque remplie d'eau, le mouvement du camphre, aboli à la surface de ce liquide par l'effet de sa trop grande profondeur relative, s'était rétabli spontanément par une température de + 4°. L'eau d'abord devenue *inactive* avait ainsi repris spontanément son *activité*, et la profondeur de ce liquide me permettait d'y plonger des corps solides d'une certaine longueur. Pour observer l'effet abolissant ou *sédatif* qu'ils exerçaient sur *l'activité* de ce même liquide, ce fut le fer que je choisis. Je pris plusieurs couteaux dont les lames parfaitement semblables avaient 12 centimètres de longueur et 2 centimètres de largeur; je plongeai jusqu'à la moitié de sa longueur une de ces lames dans l'eau que contenait l'éprouvette et sur laquelle le camphre offrait un mouvement assez vif. Le mouvement fut immédiatement suspendu. L'air, l'eau et les lames de fer étaient alors à la même température de + 4°. Je retirai la lame après un quart de minute d'immersion, et le mouvement du camphre se rétablit immédiatement. Une minute après je plongeai de nouveau la moitié de la lame de fer sans faire cesser le mouvement du camphre; il me fallut l'enfoncer en son entier dans l'eau pour produire la suspension de ce mouvement. Cette immersion ayant duré pendant une demi-minute, je retirai la lame, et le mouvement du camphre se rétablit immédiatement. Deux minutes après je plongeai de nouveau la lame dans son entier sans obtenir la suspension du mouvement du camphre. Je plongeai alors une seconde lame en son entier; l'immersion simultanée de ces deux lames fit cesser le mouvement du camphre. Je les retirai au bout d'une demi-minute, et le mouvement du camphre se rétablit immédiatement. Deux minutes après je plongeai de

nouveau les deux lames dans leur entier sans faire cesser le mouvement du camphre, et ce mouvement fut seulement très affaibli par l'immersion d'une troisième lame, il ne fut point suspendu. Ainsi *l'activité* de l'eau qui d'abord avait été abolie par l'immersion de la moitié d'une lame, n'éprouva plus cette abolition lors de la seconde épreuve: il fallut augmenter la dose du fer et la porter au double pour obtenir le même effet. A la troisième épreuve il fallut encore doubler la dose du fer immergé pour parvenir à l'abolition de *l'activité* de l'eau. Enfin à la quatrième épreuve cette dose du fer immergé fut encore doublée, c'est-à-dire fut sextuple de ce qu'elle était lors de la première épreuve, sans que *l'activité* de l'eau fût abolie; elle fut seulement diminuée considérablement. N'existe-t-il pas évidemment ici un phénomène *d'habitude?* *L'activité* de l'eau après avoir subi *l'action* modifiante d'une faible dose de fer immergé n'a pu ensuite être modifiée de même par la même dose, il a fallu l'augmenter pour obtenir le même effet, et en continuant ces épreuves il s'est trouvé que la dose du fer immergé nécessaire pour produire le même effet devint toujours croissante. Le lendemain du jour où j'avais fait cette expérience et par la même température, j'essayai de nouveau l'immersion du fer dans l'eau du même vase: il ne me fallut immerger que la moitié d'une lame pour abolir *l'activité* de l'eau et par conséquent le mouvement du camphre, de la même manière que cela avait eu lieu lors de la première épreuve faite la veille. Ainsi le repos, ou l'absence prolongée de la cause modifiante, avait rendu à *l'activité* de l'eau sa facilité première à subir *l'action* modifiante du fer immergé. *L'habitude* contractée la veille et en vertu de laquelle il n'y avait plus que de fortes doses de fer immergé qui eussent le pouvoir de modifier *l'activité* de l'eau, avait disparu. Je fais observer ici que cette expérience ne peut réussir que par une basse température; alors *l'activité* de l'eau est faible et par conséquent facile à modifier par les agents qui sont susceptibles de produire cet effet; tandis que lorsque la température est élevée, *l'activité*, qui est alors très forte dans l'eau, résiste par cela même davantage aux causes qui tendent à la modifier.

» 57. Ces expériences fournissent le moyen d'expliquer facilement pourquoi une aiguille enfoncée dans un mérithalle de chara, jusqu'au contact de son liquide circulant, abolit la circulation de ce liquide. Cette aiguille est un corps solide, dont le simple contact avec ce liquide est suffisant pour abolir *l'activité* de ce dernier, et pour suspendre, par conséquent, l'action motrice exercée par les globules verts, qui sont des corps *camphoroïdes*. Si l'on joint à cette considération que cette aiguille est de

fer, métal qui possède éminemment la propriété d'abolir l'*activité* de l'eau par son immersion dans ce liquide, on verra que l'introduction de cette aiguille dans l'intérieur du tube central, où circule le liquide du chara, présente une cause très suffisante de l'abolition de cette circulation.

» **58.** Jusqu'ici je n'ai envisagé les corps solides immergés que sous le point de vue de l'effet abolissant ou *sédatif* qu'ils produisent sur l'*activité* de l'eau; mais l'observation apprend qu'ils produisent aussi un effet *stimulant* de l'*activité* de l'eau; et ce second effet est dû à une *réaction*. Voici des expériences qui établiront ce fait, lequel sera prouvé surabondamment dans la suite de ce Mémoire.

» **59.** Lorsque le mouvement du camphre a été suspendu par l'immersion d'un corps vitreux, ce mouvement se rétablit toujours au moment même où ce corps est retiré de l'eau. Il n'y a là, en apparence, que deux faits : celui de la suspension d'un mouvement par l'effet d'un obstacle, et celui du rétablissement de ce même mouvement lorsque l'obstacle est enlevé. Or il y a certains corps qui, par leur immersion, privent tellement l'eau de son *activité*, qu'elle en demeure encore privée après leur ablation, en sorte que le mouvement du camphre sur la surface de ce liquide ne se rétablit point alors, bien qu'il doive se rétablir spontanément plus tard. Au nombre de ces corps sont les doigts de l'homme. Il suffit de plonger, pendant peu d'instants, le bout d'un doigt dans une quantité peu considérable d'eau, pour y abolir le mouvement du camphre, et ce mouvement continue à demeurer suspendu après que le doigt est retiré. Cet effet est moins prompt lorsque les doigts sont froids. Or, après avoir ainsi suspendu le mouvement du camphre, je plongeai dans l'eau, pendant une minute seulement, une boule de verre de 21^{mm} de diamètre : au moment où je la retirai, le mouvement du camphre se rétablit; ce qui ne serait arrivé que bien plus tard si la boule de verre n'avait pas été plongée. Dans une expérience analogue, le mouvement du camphre fut rétabli dès le moment de l'immersion d'un petit morceau de soufre, en sorte que l'immersion de ce corps solide paraissait avoir produit ici un effet *stimulant de l'activité* de l'eau. Je fais observer que le morceau de soufre était petit, car s'il eût été volumineux, il eût produit, au contraire, un effet *sédatif de l'activité* de l'eau, comme le prouve l'expérience suivante : Le camphre offrant son mouvement ordinaire sur de l'eau placée à la hauteur de 10^{mm} dans une cupule de verre de 40^{mm} de diamètre, je plongeai à demeure dans cette eau un bâton de soufre de 27^{mm} de diamètre; le mouvement du camphre s'arrêta, et il ne commença à se réta-

blir spontanément que plus de vingt-quatre heures après, et cela par une température de + 14 à 15 degrés. Employé en grand volume, relativement au volume de l'eau, le soufre produit donc sur l'*activité* de ce liquide un énergique effet *sédatif*, que suit assez longtemps après le rétablissement par *réaction* de cette même *activité*. Au contraire, employé en petit volume, relativement au volume de l'eau antérieurement privée de son *activité*, le soufre semble produire un effet *stimulant* de cette même *activité*, puisqu'il la rétablit immédiatement. Ce rétablissement n'est point dû à son effet *direct*, puisque cet effet est *sédatif*; il est donc dû à ce qu'il provoque la *réaction*. Ainsi la *stimulation de l'activité* de l'eau n'est qu'apparente : c'est un effet indirect dû à la *réaction*. Les corps solides volumineux plongés dans l'eau produisent ainsi avec énergie l'abolition, ou la *sédation de l'activité* de ce liquide, et ils s'opposent avec la même énergie à l'établissement de la *réaction* par laquelle cette *activité* tend à se rétablir spontanément. Les corps solides peu volumineux, au contraire, étant plongés dans l'eau, tendent faiblement à abolir l'*activité* de l'eau, et ils ne s'opposent de même que faiblement à l'établissement de la *réaction* qui tend à rétablir cette *activité* : il en résulte que cette *réaction* est rapide, en sorte que le corps solide immergé a semblé *stimuler* cette même *activité*. Parmi les métaux, le zinc produit des effets semblables; immergé sous un grand volume, relativement au volume de l'eau, il produit la suspension du mouvement du camphre, et, par conséquent, la *sédation* de l'*activité* de l'eau; immergé sous un petit volume, relativement au volume de l'eau, il rétablit, au contraire, le mouvement antérieurement suspendu du camphre. Ainsi ce mouvement n'existant point par l'effet de la trop grande profondeur relative de l'eau, on peut le rétablir par l'immersion instantanée d'une petite lame de zinc, ou d'un petit morceau de charbon.

» **60**. Les corps solides immergés qui, ainsi qu'on vient de le voir, exercent une action abolissante ou *sédative* sur l'*activité* de l'eau, ont tous été mis en expérience lorsqu'ils avaient la même température que celle de l'eau dans laquelle ils étaient plongés; il n'y a d'exception à cet égard que pour les doigts; j'ai signalé plus haut (**59**) l'action éminemment *sédative* qu'exerce leur immersion sur l'activité de l'eau. J'ai voulu savoir si cet effet provenait de ce qu'ils possédaient une chaleur très supérieure à celle de ce liquide. Pour m'en assurer, j'ai fait l'expérience suivante : j'avais expérimenté qu'une boule de verre massive plongée dans l'eau que contenait une cupule de verre, y occasionnait constamment la suspension du mouvement

du camphre. Ayant mis dans cette cupule la même quantité d'eau, j'y plongeai cette même boule de verre qui avait séjourné assez de temps dans de l'eau échauffée à + 45° pour prendre cette même température. Le mouvement du camphre ne fut point arrêté, comme il l'avait été précédemment, par l'immersion de cette même boule de verre lorsqu'elle possédait la même température que celle de l'eau dans laquelle elle avait été plongée. Ainsi l'*activité* de l'eau n'est point abolie par l'immersion d'un corps solide plus chaud que ce liquide dans les limites que je viens d'indiquer. Cette expérience prouve que ce n'est point à l'excès de la chaleur des doigts sur la chaleur de l'eau qu'il faut attribuer l'effet abolissant ou *sédatif* si énergique qu'exerce leur immersion sur l'*activité* de l'eau. J'ignore quelle est la cause de cet effet si supérieur à celui qui est produit par l'immersion des autres corps solides. Serait-il dû à la nature épidermique et cornée des téguments des doigts? Pour le savoir, j'ai plongé des morceaux de corne échauffés à environ + 40° dans la même quantité d'eau et dans le même vase qui avait servi à mes expériences précédentes, et j'ai vu que ces morceaux de corne, quoique plus volumineux qu'un doigt par leur ensemble, quoique échauffés à peu près à la même température, n'abolissaient point l'*activité* de l'eau et par suite le mouvement du camphre; ce mouvement continuait d'avoir lieu pendant leur immersion. Peut-être est-ce à la solution dans l'eau de la petite quantité de transpiration qui émane du doigt pendant sa courte immersion qu'il faut attribuer cet effet.

» **61**. D'après la propriété que possèdent tous les corps solides de diminuer ou d'abolir l'*activité* de l'eau par leur immersion, on sent que j'ai dû m'abstenir de plonger le thermomètre dans les liquides soumis à mes expériences pour connaître leur température; je me contentais d'observer la température de l'air environnant au milieu duquel ils se trouvaient depuis long-temps.

» Dans la troisième partie de ce Mémoire j'exposerai mes expériences relatives à l'influence qu'exercent les agents chimiques sur l'*activité* de l'eau. »

PHYSIQUE.—*Recherches sur la chaleur spécifique des corps simples et des corps composés; par* M. V. **Regnault.** (Deuxième Mémoire.)

Sur les chaleurs spécifiques des corps composés solides et liquides.

L'auteur expose les principales recherches expérimentales qui ont été faites jusqu'à ce jour sur la chaleur spécifique des corps composés. Il insiste principalement sur les travaux de MM. Neumann et Avogadro.

« Il développe ensuite ses procédés d'expériences et les précautions qu'il faut prendre pour obtenir des résultats exacts.

» La question des chaleurs spécifiques des corps composés, peut être envisagée sous deux points de vue; on peut se demander,

» 1°. S'il existe dans chaque classe de corps composés une relation semblable à celle qui a été découverte par Dulong et Petit dans les corps simples? C'est le point de vue qui a été abordé par M. Neumann.

» 2°. Existe-t-il un rapport simple entre la chaleur spécifique d'un corps composé et celles des substances élémentaires qui le constituent? Cette seconde question, qui comprend nécessairement la première, a été traitée par M. Avogadro.

» Je ne m'occuperai, dans ce Mémoire, que de la recherche des relations qui peuvent exister dans chaque classe de composés chimiques, et je n'aborderai pas pour le moment la seconde question. On se convaincra facilement en étudiant les résultats obtenus sur les composés solides et liquides qui font l'objet de ce travail, que ces corps ne se prêtent pas d'une manière sûre à la recherche des relations qui peuvent exister entre les chaleurs spécifiques des corps composés et celles de leurs éléments constituants. Je me propose d'aborder cette dernière question, lorsque j'aurai terminé mes recherches sur la chaleur spécifique des corps gazeux.

» Je passe tout de suite à l'exposé des résultats obtenus dans mes expériences. Je les diviserai en cinq sections :

» La première section renferme les alliages métalliques;

» La deuxième renferme les oxides;

» La troisième comprend les sulfures;

» La quatrième renferme les chlorures, bromures, iodures;

» La cinquième comprend les sels formés par les oxides avec les oxacides.

TABLEAU des chaleurs spécifiques des corps composés.

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.	CHALEURS spécifiques calculées.
PREMIÈRE SECTION. — ALLIAGES MÉTALLIQUES.					
Division A.					
1 at. plomb, 1 at. étain	0,04058		Moyen.		
	0,04087	0,04073	1014,9	41,34	0,04039
1 at. plomb, 2 at. étain	0,04526				
	0,04487	0,04506	921,7	41,53	0,04461
1 at. plomb, 1 at. antimoine	0,03877				
	0,03882	0,03880	1050,5	40,76	0,03883
1 at. bismuth, 1 at. étain	0,04024				
	0,03977	0,04000	1032,8	41,31	0,03987
1 atome bismuth, 2 atomes étain	0,04500				
	0,04507	0,04504	933,7	42,05	0,04415
1 atome bismuth, 2 at. étain, 1 at. antimoine.	0,04674				
	0,04567	0,04621	901,8	41,67	0,04564
1 at. bismuth, 2 at. étain, 1 at. antimoine,	0,05701				
2 at. zinc	0,05612	0,05657	735,6	41,61	0,05479
Division B.					
1 atome plomb, 2 at. étain, 1 at. bismuth	0,04512				
	0,04439	0,04476	1023,9	45,83	0,04012
1 at. plomb, 2 at. étain, 2 at. bismuth	0,06077				
	0,06087	0,06082	1085,2	66,00	0,03785
1 atome mercure, 1 atome étain	0,07235				
	0,07353	0,07294	1000,5	72,97	0,04172
1 atome mercure, 2 atomes étain	0,06591	0,06591	912,1	60,12	0,04563
1 atome mercure, 1 atome plomb	0,03824				
	0,03829	0,03827	1280,1	48,99	0,03234
DEUXIÈME SECTION. — OXIDES.					
A. *Oxides* RO.					
Protoxide de plomb, en poudre	0,05117				
	0,05119	0,05118	1394,5	71,34	
fondu	0,05096				
	0,05074				
	0,05097	0,05089	1394,5	70,94	
Oxide de mercure	0,05149				
	0,05210	0,05179	1365,8	70,74	
Protoxide de manganèse	0,15635				
	0,15768	0,15701	445,9	70,01	
Oxide de cuivre	0,14201	0,14201	495,7	70,39	
Oxide de nickel	0,16278				
	0,16190	0,16234	469,6	76,21	
			Moyenne....	71,90	

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la deuxième Section.				
Magnésie	0,24394	0,24394	258,4	63,03
Oxide de zinc	0,12378			
	0,12657			
	0,12301			
	0,12582	0,12480	503,2	62,77
B. *Oxides* R^2O^3.				
Peroxide de fer (fer oligiste)	0,16658			
	0,16754			
	0,16672	0,16695	978,4	163,35
Colcothar peu calciné	0,17569	0,17569	978,4	171,90
— calciné une deuxième fois	0,17167	0,17167	978,4	168,00
Colcothar fortement calciné	0,16921			
— — une deuxième fois	0,16707	0,16814	978,4	164,44
Acide arsénieux	0,13072			
	0,12624			
	0,12663			
	0,12696	0,12786	1240,1	158,56
Oxide de chrôme	0,18083			
	0,17809			
	0,17990	0,17960	1003,6	180,01
Oxide de bismuth	0,06163			
	0,06065			
	0,06042	0,06053	2960,7	179,22
Oxide d'antimoine	0,09111			
	0,08983			
	0,08932	0,09009	1912,9	172,34
			Moyenne....	169,73
Alumine (corindon)	0,19762	0,19762	642,4	126,87
— (saphir)	0,21732	0,21732	642,4	139,61
C. *Oxides* RO^2.				
Acide stannique	0,09382			
	0,09328			
	0,09268	0,09326	935,3	87,23
Acide titanique (artificiel)	0,17227			
	0,17101	0,17164	503,7	86,45
Acide titanique (rutile)	0,17028			
	0,17036	0,17032	503,7	85,79
			Moyenne......	86,49
Acide antimonieux	0,09579			
	0,09431			
	0,09596	0,09535	1006,5	95,92

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la deuxième Section.				
D. *Oxides* RO^3.				
Acide tungstique	0,07963			
	0,08003	0,07983	1483,2	118,38
Acide molybdique	0,13705			
	0,12775	0,13240	898,5	118,96
Acide silicique	0,19196			
	0,19045			
	0,19163	0,19132	577,5	110,48
Acide borique	0,23872			
	0,23615	0,23743	436,0	103,52
E. *Oxides complexes.*				
Oxide de fer magnétique	0,16686			
	0,16872	0,16780	1417,6	237,87
TROISIÈME SECTION. — SULFURES.				
A. *Sulfures* RS.				
Protosulfure de fer	0,13532			
	0,13674			
	0,13570			
	0,13504	0,13570	540,4	73,33
Sulfure de nickel	0,12804			
	0,12820			
	0,12814	0,12813	570,8	73,15
Sulfure de cobalt	0,12581			
	0,12443	0,12512	570,0	71,34
Sulfure de zinc	0,12305			
	0,12300	0,12303	604,4	74,35
Sulfure de plomb	0,05086			
	0,05107			
	0,05065	0,05086	1495,6	76,00
Sulfure de mercure	0,05137			
	0,05149			
	0,05067			
	0,05116	0,05117	1467,0	75,06
Protosulfure d'étain	0,08408			
	0,08322	0,08365	936,5	78,34
			Moyenne....	74,51
B. *Sulfures* R^2S^3.				
Sulfure d'antimoine	0,08462			
	0,08344	0,08403	2216,4	186,21

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la troisième Section. — B. *Sulfures* R^2S^3.				
Sulfure de bismuth	0,06038			
	0,05965	0,06002	3264,2	195,90
			Moyenne	191,06
C. *Sulfures* RS^2.				
Bisulfure de fer (pyrite)	0,12927			
	0,13079			
	0,12969			
	0,13061	0,13009	741,6	96,45
Bisulfure d'étain	0,11788			
	0,12076	0,11932	1137,7	135,66
Sulfure de molybdène	0,12337			
	0,12172			
	0,12493	0,12334	1001,0	123,46
			Moyenne	129,56
D. *Sulfures* R^2S.				
Sulfure de cuivre	0,12165			
	0,12121			
	0,12068	0,12118	992,0	120,21
Sulfure d'argent	0,07467			
	0,07411			
	0,07533			
	0,07419	0,07460	1553,	115,86
E. *Sulfures complexes.*				
Pyrite magnétique	0,16095			
	0,15948	0,16023	?	
QUATRIÈME SECTION. — CHLORURES, BROMURES, IODURES, FLUORURES.				
A. *Chlorures* R^2Cl^2.				
Chlorure de sodium	0,21362			
	0,21440	0,21401	733,5	156,97
Chlorure de potassium	0,17448			
	0,17142	0,17295	932,5	161,19
Protochlorure de mercure	0,05213			
	0,05196	0,05205	2974,2	154,80
Protochlorure de cuivre	0,13929			
	0,13725	0,13827	1234,0	156,83
Chlorure d'argent	0,09084			
	0,09157			
	0,09086	0,09109	1794,2	163,42
			Moyenne	158,64
B. *Chlorures* RCl^2.				
Chlorure de barium	0,08891			
	0,09023	0,08957	1299,5	116,44

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la quatrième Section. — B. *Chlorures* RCl^2.				
Chlorure de strontium	0,11972			
	0,12008	0,11990	989,9	118,70
Chlorure de calcium	0,16453			
	0,16385	0,16420	698,6	114,72
Chlorure de magnésium	0,19460	0,19460	601,0	118,54
Chlorure de plomb	0,06623			
	0,06643			
	0,06656	0,06641	1737,1	115,35
Protochlorure de mercure	0,06957			
	0,06821	0,06889	1708,4	117,68
Chlorure de zinc	0,13618	0,13618	845,8	115,21
Perchlorure d'étain	0,10192			
	0,10131	0,10161	1177,9	119,59
			Moyenne.....	117,03
Chlorure de manganèse	0,14335			
	0,14175	0,14255	788,5	112,51
C. *Chlorides volatils* RCl^4.				
Chloride d'étain	0,14705			
	0,14813	0,14759	1620,5	239,18
Chloride de titane	0,18675			
	0,19028			
	0,18732	0,19145	1188,9	227,63
			Moyenne.....	233,40
D. *Chlorides volatils* R^2Cl^6.				
Chlorure d'arsenic	0,17478			
	0,17603			
	0,17730	0,17604	2267,8	399,26
Chlorure de phosphore	0,21114			
	0,20730	0,20922	1720,1	359,86
			Moyenne.....	379,51
A'. *Bromures* R^2Br^2.				
Bromure de potassium	0,11347			
	0,11297	0,11322	1468,2	166,21
Bromure d'argent	0,07278			
	0,07422			
	0,07473	0,07391	2330,0	173,31
			Moyenne.....	169,76
Bromure de sodium	0,13872			
	0,13812	0,13842	1269,2	175,65

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la quatrième Section.				
B'. *Bromures* RBr^2.				
Bromure de plomb	0,05393			
	0,05357			
	0,05243			
	0,05313	0,05326	2272,8	121,00
A''. *Iodures* R^2I^2.				
Iodure de potassium	0,08199			
	0,08114			
	0,08203			
	0,08248	0,08191	2068,2	169,38
Iodure de sodium	0,08701			
	0,08667	0,08684	1869,2	162,30
Proto-iodure de mercure	0,03967			
	0,03930	0,03949	4109,3	162,34
Iodure d'argent	0,06147			
	0,06158			
	0,06173	0,06159	2929,9	180,45
Proto-iodure de cuivre	0,06580			
	0,07159	0,06869	2369,7	162,81
			Moyenne	167,45
B''. *Iodures* RI^2.				
Iodure de plomb	0,04269			
	0,04274			
	0,04258	0,04267	2872,8	122,54
Iodure de mercure	0,04115			
	0,04176			
	0,04301	0,04197	2844,1	119,36
			Moyenne	120,95
B'''. *Fluorures* RFl^2.				
Fluorure de calcium	0,21458			
	0,21456			
	0,21562			
(calciné)	0,21686	0,21492	489,8	105,31
CINQUIÈME SECTION. — SELS.				
A. *Nitrates* $Az^2O^5 + R^2O$.				
Nitrate de potasse	0,23746			
	0,24004	0,23875	1266,9	302,49
Nitrate de soude	0,27856			
	0,27786	0,27821	1067,9	297,13
Nitrate d'argent	0,14352	0,14352	2128,6	305,55
			Moyenne	301,72

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la cinquième Section.				
Nitrates $Az^2O^5 + RO$.				
Nitrate de baryte	0,15212			
	0,15244	0,15228	1633,9	248,83
B. *Chlorates* $Cl^2O^5 + R^2O$.				
Chlorate de potasse	0,20990			
	0,20922	0,20956	1532,4	321,04
C. *Phosphates* $P^2O^5 + 2R^2O$ (Pyrophosphates).				
Phosphate de potasse	0,19179			
	0,19025	0,19102	2072,1	395,79
Phosphate de soude	0,22868			
	0,22798	0,22833	1674,1	382,22
			Moyenne	389,01
Phosphate $P^2O^5 + 2RO$.				
Phosphate de plomb	0,08150			
	0,08265	0,08208	3681,3	302,14
Métaphosphate $P^2O^5 + RO$.				
Métaphosphate de chaux	0,19822			
	0,20025	0,19923	1248,3	248,64
Phosphate $P^2O^5 + 3RO$.				
Phosphate de plomb	0,07951			
	0,08013	0,07982	4985,8	397,96
D. ARSÉNIATES. — *Arséniate* $Az^2O^5 + R^2O$.				
Arséniate de potasse	0,15696			
	0,15357			
	0,15840	0,15631		
Arséniate de plomb $Ar^2O^5 + 3PbO$.				
Arséniate de plomb	0,07231			
	0,07329	0,07280	5623,5	409,37
E. *Sulfates* $SO^3 + R^2O$.				
Sulfate de potasse	0,19034			
	0,18987	0,19010	1091,1	207,40
Sulfate de soude	0,23143			
	0,23087	0,23115	892,1	206,21
			Moyenne	206,80
Sulfates $SO^3 + RO$.				
Sulfate de baryte	0,11293			
	0,11276	0,11285	1458,1	164,54
Sulfate de strontiane	0,14331			
	0,14227	0,14279	1148,5	164,01

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la cinquième Section. — Sulfates $SO^3 + RO$.				
Sulfate de plomb	0,08734			
	0,08711	0,08723	1895,7	165,39
Sulfate de chaux	0,19656	0,19656	857,2	168,49
Sulfate de magnésie	0,22159	0,22159	759,5	168,30
			Moyenne	166,15
F. *Chromates.*				
Chromate de potasse	0,18493			
	0,18517	0,18505	1241,7	229,83
Bichromate de potasse	0,18899			
	0,18975	0,18937	1893,5	358,67
G. Borates. — *Borates* $B^2O^6 + R^2O$.				
Borate de potasse	0,21932			
	0,22018	0,21975	1461,9	321,27
Borate de soude	0,23758			
	0,23888	0,23823	1262,9	300,88
			Moyenne	311,07
Borates $B^2O^6 + RO$.				
Borate de plomb	0,11441			
	0,11377	0,11409	2266,5	258,60
Borates $B^2O^6 + 2R^2O$.				
Borate de potasse	0,20551			
	0,20405	0,20478	1025,9	219,52
Borate de soude	0,25683			
	0,25734	0,25709	826,9	212,60
			Moyenne	216,06
Borates $BO^6 + 2RO$.				
Borate de plomb	0,09004			
	0,09088	0,09046	1830,5	165,54
H. *Tungstates.*				
Wolfram	0,09738			
	0,09823	0,09780		187,97
I. *Silicates.*				
Zircon	0,14561			
	0,14555			
J. Carbonates. — *Carbonates* $CO^2 + R^2O$.				
Carbonate de potasse	0,21563			
	0,21683	0,21623	865,0	187,04

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEURS spécifiques.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Suite de la cinquième Section.— Carbonates $CO^2 + R^2O$.				
Carbonate de soude	0,27261			
	0,27289	0,27275	666,0	181,65
			Moyenne.....	184,35
Carbonates $CO^2 + RO$.				
Carbonate de chaux. *a*. Spath d'Islande	0,20737			
	0,21078			
	0,20750			
	0,20865			
	0,20942			
b	0,20829			
	0,20793	0,20858	631,0	131,61
Arragonite	0,20934			
	0,21020			
	0,20806			
	0,20769			
	0,20720	0,20850	631,0	131,56
Marbre saccharoïde blanc	0,21656			
	0,21465			
	0,21571			
	0,21710			
	0,21522	0,21585	631,0	136,20
Marbre saccharoïde gris	0,21016			
	0,20963	0,20989	631,0	132,45
Craie blanche	0,21401			
	0,21569	0,21485	631,0	135,57
Carbonate de baryte	0,11008			
	0,11068	0,11038	1231,9	135,99
Carbonate de strontiane	0,14539			
	0,14428	0,14483	922,3	133,58
Carbonate de fer	0,19386			
	0,19303	0,19345	714,2	138,16
			Moyenne.....	134,40
Carbonate de plomb	0,08596	0,08596	1669,5	143,55
Dolomie (1)	0,21661			
	0,21824	0,21743	582,2	126,59

(1) La dolomie et le carbonate de plomb étaient impurs : la dolomie renfermait des filets de pyrite ; le carbonate de plomb dégageait encore de l'eau à la calcination.

» Discutons maintenant les résultats renfermés dans le tableau général, en examinant successivement les diverses sections qui le composent.

Première section.

» La première section du tableau, qui comprend les alliages métalliques, nous présente deux séries A et B.

» La série A se compose des alliages qui, à 100°, sont encore loin de leur point de fusion : pour tous ces alliages, le produit de la chaleur spécifique par le poids atomique moyen reste sensiblement constant. Le produit ne varie en effet que de 40,76 à 42,05. Ces limites de variation sont à peu près celles entre lesquelles se trouvent compris les métaux simples qui entrent dans la constitution des alliages. On peut donc énoncer cette loi : *La chaleur spécifique des alliages, à une distance un peu grande de leur point de fusion, est exactement la moyenne des chaleurs spécifiques des métaux qui les composent.*

» La grande concordance que l'on remarque entre les chaleurs spécifiques déterminées par l'expérience et les nombres renfermés dans la dernière colonne du tableau, et qui ont été calculés d'après la loi précédente, me paraît mettre cette loi hors de doute.

» La série B renferme les alliages qui fondent vers 100° ou à quelques degrés au-dessus. Nous y trouvons d'abord deux alliages, plomb, étain et bismuth, qui sont compris dans les alliages que l'on désigne sous le nom d'*alliages fusibles de d'Arcet ;* le premier fond à 20 ou 30° au-dessus de la température de l'eau bouillante, le second fond déjà vers 97°. Le produit de la chaleur spécifique du premier alliage, par son poids atomique moyen, est 45,83, nombre beaucoup plus fort que ceux que nous avons trouvés sur les alliages A. L'alliage le plus fusible a donné un produit encore bien plus grand, car ce produit est 66, c'est-à-dire une fois et demie le nombre donné par la première série d'alliages. Les amalgames m'ont donné également des produits beaucoup plus forts, quoique la chaleur spécifique du mercure liquide entre 0 et 100° ne donne que le produit 42, c'est-à-dire à peu de chose près le même que celui des métaux solides qui formaient notre première série d'alliages.

» Ainsi tous les alliages renfermés dans la série B s'écartent complétement de la loi que je viens d'énoncer. Cette divergence doit être attribuée à deux causes :

» 1°. Ces alliages sont très rapprochés de leur point de fusion à la li-

mite supérieure de température, à partir de laquelle on prend la chaleur spécifique; par suite la capacité trouvée est à son maximum.

» 2°. Ces alliages se ramollissent, ou se désagrègent presque complétement en approchant de cette température; par suite ils renferment déjà presque toute la chaleur latente qui leur est nécessaire pour opérer le passage de l'état solide à l'état liquide. On remarque, en effet, que c'est dans les alliages qui deviennent les plus mous à 100° que l'on trouve les nombres les plus forts pour les produits des chaleurs spécifiques par les poids atomiques moyens.

» Ainsi, pour tous les alliages de la deuxième série B, on trouve des capacités calorifiques beaucoup plus grandes que celles qui satisfont à la loi qui paraît régir les chaleurs spécifiques des alliages à une grande distance de leur point de fusion. Il est probable que les alliages B présenteraient une divergence moins grande si l'on déterminait leur chaleur spécifique seulement entre 0 et 50°. C'est ce que je me propose de vérifier bientôt.

» Il est à remarquer que les alliages de la première série ont constamment des chaleurs spécifiques un peu plus grandes que les chaleurs spécifiques moyennes calculées. Cela peut tenir, d'une part, à ce que le point de fusion de ces alliages est toujours plus bas que la moyenne des points de fusion des métaux composants, et de l'autre, à ce que la densité des alliages est constamment plus faible que la densité moyenne. J'ai cru d'abord que la comparaison de la densité des alliages avec la densité moyenne pouvait conduire à quelque résultat important, et je me suis appliqué à déterminer ces densités avec soin, mais je n'ai rien reconnu de général qui méritât d'être mentionné.

Deuxième section.

» La deuxième section renferme les oxides.

» La première série A renferme les oxides à un seul atome d'oxigène. Les oxides de plomb, de mercure, de manganèse, de cuivre, de nickel donnent pour produits de leurs chaleurs spécifiques par leurs poids atomiques des nombres très peu différents. Le nombre donné par l'oxide de nickel diverge seul d'une manière notable, mais il convient d'observer que la chaleur spécifique de l'oxide de nickel est trop forte, comme j'ai eu soin de l'indiquer en rapportant les expériences faites sur cette substance, à cause du dégagement de chaleur qui a eu lieu au moment où la matière poreuse s'imbibe d'eau.

» Ainsi, pour tous les oxides sus-mentionnés, on peut dire que *leurs chaleurs spécifiques sont en raison inverse de leurs poids atomiques.* Les divergences sont du même ordre que celles que j'ai trouvées dans la loi de la chaleur spécifique des corps simples.

» Nous trouvons dans la même série A deux oxides, les oxides de magnésium et de zinc qui présentent, pour produits de leurs capacités calorifiques par leurs poids atomiques (produits que, pour simplifier le langage, je désignerai souvent par *chaleurs atomiques*), des nombres sensiblement égaux entre eux, mais très différents de ceux que nous avons trouvés dans les premiers oxides de même formule. Ces produits sont, en effet, 63 au lieu de 72. Ces oxides font, par conséquent, exception à la loi; je chercherai tout-à-l'heure à expliquer à quoi tient cette anomalie.

» La magnésie et l'oxide de zinc présentent un isomorphisme complet; il est remarquable que l'analogie se continue dans leurs chaleurs spécifiques.

» La série B renferme les oxides de la formule R^2O^3; nous trouvons dans cette série un oxide dont la chaleur atomique est beaucoup plus faible que celle des autres oxides de même composition, c'est l'alumine à l'état de corindon et de saphir. Pour les autres oxides, le produit de la chaleur spécifique par le poids atomique varie de 158,6 à 180, c'est-à-dire à peu près de 8 à 9. La divergence est notable, mais elle est toujours du même ordre que celle qui se présente dans les corps simples. Ainsi, en mettant de côté l'alumine à l'état de corindon, on peut énoncer sur les oxides R^2O^3 la loi qui s'applique aux oxides RO.

» Il est bon de remarquer que la plus grande chaleur atomique a été trouvée pour l'oxide de chrôme, mais j'ai déjà indiqué plus haut que la chaleur spécifique trouvée pour ce corps était trop forte, parce qu'il avait dégagé une quantité sensible de chaleur au moment de son imbibition par l'eau.

» Les expériences consécutives faites sur le colcothar nous montrent un corps dont la capacité calorifique va en diminuant à mesure que la calcination produit une agrégation plus grande. Cette capacité calorifique finit par devenir la même que celle du fer oligiste naturel.

» La série B nous montre deux oxides à deux atomes d'oxigène parfaitement isomorphes, les acides stannique et titanique. Ces oxides présentent des chaleurs atomiques parfaitement égales. L'acide titanique préparé par dissolution et calcination a donné la même chaleur spécifique que l'oxide naturel ou *rutile*.

» J'ai placé dans la même série l'acide antimonieux, qui a une chaleur atomique plus forte de $\frac{1}{10}$ que celle des deux oxides précédents. Mais la nature de ce composé me paraît encore tout-à-fait incertaine. Ce corps pourrait bien être, non pas un oxide particulier SbO^2 ou Sb^2O^4, mais un oxide complexe $Sb^2O^3 + Sb^2O^5$, un antimoniate d'oxide d'antimoine; on ne connaît en effet jusqu'ici aucune combinaison nettement définie dans laquelle entre l'acide antimonieux.

» La série D renferme les oxides supposés à 3 atomes d'oxigène. Deux oxides, les acides tungstique et molybdique, qui présentent tant de ressemblance dans leurs propriétés chimiques, ont des chaleurs atomiques identiques. Cependant cette identité absolue pourrait bien n'être qu'apparente, parce que les deux nombres trouvés pour l'acide molybdique s'écartent plus l'un de l'autre que cela n'a lieu ordinairement dans mes expériences. Cet écart tient à quelque erreur d'observation que je n'ai pas été à même de rectifier.

» Les acides silicique et borique ont été placés dans la même série, bien qu'il ne soit pas encore démontré que ce soit là leur place; si ces acides doivent être considérés comme des oxides à 3 atomes d'oxigène; alors on voit que dans les oxides de la formule RO^3 les produits des chaleurs spécifiques par les poids atomiques varient de 103 à 118,4, ou de 8 à 9 environ.

» En résumant tout ce qui vient d'être dit sur les oxides de différentes formules, je crois que l'on peut énoncer cette loi : *Dans les oxides métalliques de même formule chimique les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques.*

» Cette loi est loin de s'appliquer d'une manière rigoureuse aux nombres donnés par l'expérience; mais elle s'y applique dans les limites où la loi analogue a été trouvée exacte pour les corps simples. Deux oxides de même formule satisfont d'autant mieux à la loi, que ces oxides présentent un isomorphisme plus complet.

» La magnésie et l'oxide de zinc d'une part, l'alumine à l'état de corindon de l'autre, présentent une divergence beaucoup plus grande. Cette divergence est même telle, qu'il est impossible d'étendre la loi jusqu'à ces substances. Mais je crois que cette anomalie peut être expliquée de la manière suivante :

» Un même corps peut avoir plusieurs chaleurs spécifiques suivant son état d'agrégation. A mesure que l'agrégation d'un corps augmente, sa capacité calorifique diminue. Les expériences que j'ai citées sur le colcothar peuvent être considérées comme venant à l'appui de la proposition que

j'énonce. Un corps qui prend beaucoup d'agrégation perd souvent complétement ses propriétés chimiques les plus caractéristiques. Ainsi si ce corps est un oxide, il devient, en s'agrégeant fortement, insoluble ou au moins difficilement soluble dans les acides. C'est précisément ce qui se présente à un haut degré dans les oxides qui font exception à la loi. Ce changement ne peut évidemment avoir lieu que dans les oxides qui ne se fondent pas. La calcination pour la magnésie et l'oxide de zinc, l'agrégation naturelle pour le corindon, ont amené ces substances à un état où elles ne sont plus que difficilement solubles dans les acides. Je crois que ces corps peuvent exister avec des chaleurs spécifiques plus fortes que celles que je leur ai trouvées et qui les feraient rentrer dans la loi générale. Quelques expériences tentées dans cette direction, mais qui sont encore trop imparfaites pour être publiées, m'ont confirmé dans cette opinion.

» Je crois même que ce changement de chaleur spécifique correspondant à un changement d'agrégation, donne l'explication d'un phénomène bien connu des chimistes et des physiciens, je veux parler de l'incandescence qui se manifeste subitement dans certains oxides, quand on les soumet à une chaleur graduellement croissante. Il se produit alors un changement dans la disposition moléculaire du corps, un changement d'agrégation qui se manifeste dans les caractères chimiques. En effet, la substance qui était facilement soluble dans les acides, avant son incandescence, est devenue très difficilement soluble, quelquefois même insoluble après. L'incandescence s'explique facilement par une diminution subite dans la capacité calorifique du corps, qui dégage instantanément de la substance une quantité considérable de chaleur qui auparavant était latente; cette chaleur, au moment où elle devient libre, produit nécessairement une élévation thermométrique qui porte pendant quelques instants la substance à l'incandescence, quand elle n'était encore portée qu'au rouge sombre par la chaleur extérieure.

» On peut croire au premier abord qu'il doit être facile de décider par l'expérience, si l'explication que je viens de donner est la véritable. Il suffirait en effet pour cela, de choisir un oxide susceptible de prendre ces deux états d'agrégation et de déterminer sa chaleur spécifique, avant et après la calcination qui amène le changement d'état. La première capacité calorifique devrait être trouvée notablement plus forte que la seconde. Cette expérience, extrêmement simple en apparence, présente de grandes difficultés dans l'exécution. En effet, les oxides qui sont dans le cas dont je m'occupe, doivent être préparés à l'état d'hydrates, ils retiennent l'eau avec

beaucoup de force, et les dernières portions de cette eau ne se dégagent qu'à une température très voisine de celle qui produit le changement d'agrégation; de sorte que si l'on reste notablement au-dessous de cette température, on a un oxide qui renferme de l'eau, et si l'on attend le moment où l'eau s'est entièrement dégagée, on obtient une matière dans laquelle le changement d'agrégation s'est en grande partie opéré. Si l'on joint à cela, que la préparation de ces hydrates purs, quand on en a besoin d'une quantité considérable comme celle qui est nécessaire pour mes expériences, est une opération extrêmement longue et pénible, et que la matière se présente presque toujours sous une forme peu favorable à la détermination exacte de sa chaleur spécifique, on concevra que, malgré beaucoup d'expériences tentées dans cette vue, je ne puisse encore rien produire de concluant. J'aurai bientôt occasion de revenir sur cette question dans un Mémoire spécial, où je me propose d'étudier les variations que subit la capacité calorifique d'un corps par divers changements opérés dans son état physique.

» Au reste, on trouvera à la fin de ce Mémoire une série d'expériences sur le carbone dans ses différents états et sur le soufre, qui viennent à l'appui des propositions que je viens d'énoncer.

» Il convient d'ailleurs de remarquer que l'anomalie que nous venons de signaler dans les oxides de zinc et de magnésium ne se présente plus dans les sels formés par ces oxides, ni dans les autres combinaisons binaires produites par les deux métaux.

Troisième section.

» La troisième section du tableau général renferme les sulfures.

» La série A des sulfures RS nous montre des produits de chaleurs spécifiques par les poids atomiques qui ne varient que de 73 à 78. J'en excepte le sulfure de cobalt, qui a donné pour produit 71,4; mais la chaleur spécifique trouvée pour ce corps est trop faible, comme j'ai eu occasion de l'annoncer, le sulfure renfermant une petite quantité de métal non sulfuré. Ainsi il est permis d'étendre aux sulfures à un atome de soufre la loi reconnue pour les oxides : *dans les sulfures à un atome de soufre, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques.*

» La série B présente deux sulfures de la composition $R^2 S^3$, les sulfures d'antimoine et de bismuth; les produits des capacités calorifiques de ces corps par leurs poids atomiques sont 186 et 196, c'est-à-dire égaux à $\frac{1}{18}$ près.

» La classe C renferme des sulfures RS^2. Les bisulfures d'étain et de molybdène qui présentent quelque ressemblance dans leur constitution physique ont des chaleurs atomiques peu différentes, elles diffèrent de $\frac{1}{10}$ à peu près. La pyrite de fer donne un nombre bien différent, mais il n'y a aucune analogie entre ce sulfure et les précédents. La classe C renferme évidemment des substances de constitution tout-à-fait dissemblable.

» La classe D renferme deux sulfures qui présentent un isomorphisme parfait, les sulfures de cuivre et d'argent; les produits des capacités calorifiques par les poids atomiques sont très peu différents.

» La loi énoncée pour les oxides s'applique donc aux sulfures, le maximum de divergence des résultats de l'expérience s'élève à $\frac{1}{10}$.

Quatrième section.

» Elle renferme les chlorures, bromures, iodures et fluorures.

» La première série A nous présente les chlorures de la formule $R^2 Cl^2$. On sera peut-être étonné de trouver dans cette série les chlorures de potassium et de sodium que l'on est habitué à considérer comme des chlorures RCl^2; mais on remarquera dans la section dont nous nous occupons maintenant, et dans la section suivante, qui renferme les sels, que les produits de la potasse et de la soude viennent toujours se classer sous le rapport de leur chaleur spécifique avec les produits de l'oxide d'argent, du protoxide de mercure et du protoxide de cuivre.

» Ces deux derniers oxides sont considérés par tous les chimistes comme formés par 2 atomes de métal et 1 atome d'oxigène. Quant à l'argent, la chaleur spécifique du métal isolé conduit à diviser par 2 le poids atomique admis par M. Berzélius; on est conduit à la même conséquence par l'isomorphisme si parfait du sulfure d'argent avec le protosulfure de cuivre, ces sulfures se remplaçant en toutes proportions dans plusieurs minéraux. Il ne peut guère rester de doute d'après cela que l'oxide d'argent doit être assimilé aux protoxides de mercure et de cuivre, et qu'il doit être regardé comme formé par 2 atomes de radical et 1 atome d'oxigène.

» Les expériences contenues dans ce Mémoire sur les chaleurs spécifiques des composés alcalins, nous conduisent à regarder également la potasse et la soude comme des oxides formés par 2 atomes de métal et 1 atome d'oxigène, et par conséquent à diviser par 2 les poids atomiques généralement admis pour les métaux alcalins.

» Je ne me dissimule pas que les chimistes se rendront difficilement à

cette conclusion déduite des chaleurs spécifiques, et qu'ils attendront, avant d'introduire un changement aussi important dans les formules chimiques, qu'il soit appuyé par d'autres faits. Cependant il ne serait pas difficile d'en citer déjà dès à présent un grand nombre qui militent en faveur de l'opinion que je viens d'énoncer. En effet :

» On sait que les oxides RO, tels que la baryte, la strontiane, la chaux, la magnésie, le protoxide de fer, de manganèse, de zinc, etc., etc., peuvent se remplacer en toutes proportions; mais on n'a pas d'exemples jusqu'ici du remplacement d'un de ces oxides par un oxide alcalin. On connaît bien des sels doubles en proportions définies, formés par les sels des oxides RO avec les sels alcalins, mais on n'a pas de remplacements en proportions quelconques de ces oxides par des alcalis, remplacements qui sont le véritable caractère de l'isomorphisme chimique.

» Nous connaissons beaucoup d'aluns dans lesquels l'alumine est remplacée par un oxide de la formule R^2O^3, tels que le peroxide de fer, l'oxide de chrôme, le sesquioxide de manganèse. Nous en connaissons d'autres dans lesquels la potasse est remplacée par la soude, par la lithine et par l'ammoniaque; mais je n'en connais pas un seul dans lequel le sulfate alcalin soit remplacé par un sulfate d'un oxide RO, par le sulfate de magnésie, de zinc, de manganèse ou de protoxide de fer.

» Le sulfate d'argent, d'après M. Mitscherlich, est complétement isomorphe avec le sulfate de soude anhydre.

» J'espérais pouvoir joindre à ce travail la chaleur spécifique du potassium et du sodium isolés; mais jusqu'à présent j'ai été arrêté par des difficultés d'expérience qui tiennent à la nature de ces métaux, mais que j'espère cependant parvenir à surmonter.

» Les chlorures R^2Cl^2 de la série A nous présentent des chaleurs atomiques qui ne varient que de 155 à 163, tandis que leurs poids atomiques varient de 733 à 2974.

» La série B renfermant les chlorures RCl^2, ne présente que des variations de 115 à 119,5, c'est-à-dire du même ordre que celles de la précédente série, tandis que les poids atomiques varient de 601 à 1737. J'ai exclus le chlorure de manganèse qui a donné pour produit 112,5: ce chlorure était en partie décomposé, comme je l'ai indiqué plus haut.

» La série C renferme deux chlorures liquides et volatils RCl^4. Ce sont les perchlorures d'étain et de titane. Les produits des poids atomiques par les chaleurs spécifiques correspondantes, sont 239,1 et 227,6, nombres qui diffèrent de $\frac{1}{20}$ environ, tandis que les poids atomiques sont 1189 et 1621.

» La série D présente deux chlorures liquides et volatils de la formule R^2Cl^6, les chlorures de phosphore et d'arsenic; les produits des poids atomiques par les chaleurs spécifiques sont 360 et 399.

» La série A′ des bromures R^2Br^2 nous montre les bromures de potassium et d'argent qui ont pour chaleurs atomiques 166 et 173, tandis que leurs poids atomiques sont 1468 et 2330. Le bromure de sodium a donné le nombre 175,6; ce nombre est trop fort, parce que le bromure renfermait du carbonate.

» La série B′ ne renferme qu'un seul bromure RBr^2, le bromure de plomb, qui a donné pour produit de sa chaleur spécifique par son poids atomique le nombre 121.

» La série A″ des iodures R^2I^2 nous présente des chaleurs atomiques variant de 162,5 à 180,5 pour des poids atomiques variant de 1869 à 4109.

» La série B″ renferme l'iodure de plomb PbI^2, et le bi-iodure de mercure HgI^2, qui ont pour produits les nombres 122,5 et 119,4.

» La loi énoncée s'applique donc aux chlorures, bromures, iodures de même formule, dans les limites d'approximation où on la reconnaît vérifiée dans les oxides, les sulfures et dans lés corps simples.

Cinquième section.

» La cinquième et dernière section du tableau renferme les sels formés par les oxides métalliques avec les oxacides.

» La série des nitrates formés par les bases à 2 atomes de radical et qui comprend les nitrates de potasse, de soude et d'argent ne présente qu'une variation dans le produit des chaleurs spécifiques par les poids atomiques de 297 à 305, tandis que les poids atomiques varient de 1068 à 2129.

» Le nitrate de baryte est le seul de nitrates formés par les oxides RO qui se trouve mentionné dans le tableau. Je n'ai pas réussi à préparer parfaitement sec le nitrate de strontiane.

» La série C présente les phosphates de potasse et de soude fondus $P^2O^5 + 2R^2O$; les produits des poids atomiques par les chaleurs spécifiques sont 382 et 395.

» Je ne dirai rien, pour le moment, des autres phosphates et des arséniates, parce que dans chaque série on ne rencontre qu'une seule substance.

» La série des sulfates nous présente d'abord les sulfates de potasse et de soude $SO^3 + R^2O$ pour lesquels les produits des chaleurs spécifiques par

les poids atomiques, sont 207,4 et 206,2, nombres presque identiques.

» La série des sulfates $SO^3 + RO$ présente des variations dans le produit de la chaleur spécifique par les poids atomiques depuis 164 jusqu'à 168, pour une variation dans les poids atomiques de 759 à 1896.

» La série G des borates nous montre d'abord les borates de potasse et de soude $B^2O^6 + RO$ ayant des produits 321 et 301, qui diffèrent par conséquent de $\frac{1}{15}$, et les borates de potasse et de soude $B^2O^6 + 2R^2O$ qui ont pour chaleurs atomiques 219,5 et 212,6.

» Enfin la série J des carbonates nous présente les carbonates de potasse et de soude $CO^2 + R^2O$ dont les produits sont 187 et 181,6 et les carbonates de la formule $CO^2 + RO$ dont les chaleurs atomiques varient de 131,5 à 138, tandis que les poids atomiques varient de 631 à 1232.

» La série J renferme un grand nombre d'expériences sur le carbonate de chaux à divers états, ces expériences présentent un grand intérêt en ce qu'elles nous montrent, dans une seule et même substance, des variations presque aussi grandes que celles que l'on rencontre dans les différents corps d'un même groupe et qui empêchent les lois précédentes d'être tout-à-fait rigoureuses.

» Le spath d'Islande et l'arragonite ne m'ont pas présenté de différence sensible dans leurs chaleurs spécifiques; en effet la moyenne de sept expériences a donné, pour le spath d'Islande, 0,20858, et la moyenne de cinq expériences sur l'arragonite rayonnée, a donné pour cette substance la chaleur spécifique 0,20850.

» Mais on rencontre des variations notables dans certains marbres saccharoïdes et pour la craie. La craie a donné pour chaleur spécifique 0,21485, nombre beaucoup plus fort que les précédents, et une variété de marbre saccharoïde blanc, dans laquelle je n'ai reconnu ni argile, ni magnésie, a présenté une chaleur spécifique de 0,21585. Le produit de la chaleur spécifique par le poids atomique est, pour le spath d'Islande et l'arragonite, 131,6, et pour le marbre blanc, 136,2. Ces nombres forment presque les extrêmes dans la série des carbonates. Un seul carbonate, le fer spathique, a donné un produit plus fort, mais on sait que cette substance n'est jamais pure, que toujours une petite portion de fer est remplacée par de la chaux ou de la magnésie.

» L'examen des sels renfermés dans la cinquième section nous conduit donc à une loi tout-à-fait semblable à celle reconnue dans les sections précédentes.

» Il résulte de la discussion détaillée à laquelle nous venons de nous li-

vrer sur les différents groupes de corps qui sont renfermés dans notre tableau, que l'on peut établir pour chacune de ces classes de corps, une loi semblable à celle qui a été reconnue pour les substances élémentaires. Cette loi peut être énoncée de la manière suivante : *Dans les corps composés, renfermant le même élément électro-négatif, et de constitution atomique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques.*

» Cette loi, je le répète, ne satisfait pas, d'une manière rigoureuse, aux résultats de l'expérience; mais les divergences ne sont pas plus grandes que celles qui se présentent dans la loi des corps simples : elles ne dépassent pas $\frac{1}{10}$ ou au plus $\frac{1}{9}$.

» Jusqu'ici nous n'avons encore comparé entre elles que les classes de composés semblables, ayant le même élément électro-négatif; comparons maintenant tous les composés de même formule chimique, c'est-à-dire comparons les oxides avec les sulfures, les chlorures avec les bromures et iodures, les nitrates avec les chlorates, etc., etc.

» Les oxides RO ont donné pour produit moyen de leurs chaleurs spécifiques par leurs poids atomiques le nombre 71,9; les sulfures de même formule RS ont donné pour produit 74,5. Ces deux nombres sont peu différents.

» Les oxides R^2O^3 ont donné pour produit moyen 169,7, tandis que les sulfures de même formule ont donné 191. La différence est ici plus grande, mais elle ne s'élève cependant pas au-dessus de $\frac{1}{9}$. La concordance est plus grande, si l'on ne considère dans les oxides R^2O^3 que les deux oxides dont on a les sulfures correspondants. Ainsi l'on a trouvé :

Pour l'oxide d'antimoine.....	172,4	Pour le sulfure.......	186,2
l'oxide de bismuth......	179,2	—	195,9

» Le produit donné par les sulfures est toujours plus grand que celui donné par les oxides correspondants.

» Les chlorures R^2Cl^2, comparés aux bromures R^2Br^2, et aux iodures R^2I^2, nous montrent que le produit moyen des poids atomiques par les chaleurs spécifiques correspondantes est:

Pour les chlorures...........	158,6
— bromures..........	169,7
— iodures............	167,4

nombres peu différents.

» Si l'on compare entre eux les chlorure, bromure et iodure, formés par un même métal, on trouve :

Chlorure de potassium....		161,2	Chlorure d'argent....		163,4
Bromure	*id.*	166,2	Bromure	*id.*	173,3
Iodure	*id.*	169,4	Iodure	*id.*	180,4

» Il est à remarquer que le produit de la capacité calorifique par le poids atomique est plus grand généralement dans les composés dont les poids atomiques sont les plus lourds. Ainsi il est plus grand dans les sulfures que dans les oxides, plus grand dans les iodures que dans les bromures, plus fort dans ceux-ci que dans les chlorures. Cela tient peut-être à ce que la densité des composés augmente dans un rapport moins rapide que leur poids atomistique.

» Dans les chlorures, bromures, iodures de la formule RCl^2, on a :

Pour les chlorures..........	117,00
— bromures..........	121,00
— iodures..........	120,95

» Les nitrates, comparés aux chlorates, donnent :

Nitrate de potasse....	302,5
Chlorate de potasse....	321,0

La différence n'est encore ici que de $\frac{1}{15}$.

» Les nitrates $Az^2O^5 + RO$ peuvent être comparés aux phosphates $P^2O^5 + RO$.

Le nitrate de baryte a donné pour produit......	248,8
Le métaphosphate de chaux..................	248,6

» Les phosphates et arséniates ne peuvent malheureusement pas être comparés. Ceux dont j'ai déterminé les chaleurs spécifiques diffèrent par les proportions des bases.

» Le chromate de potasse, comparé au sulfate de la même base, présente une différence plus grande, mais qui ne dépasse pas cependant $\frac{1}{9}$.

Le sulfate de potasse a donné pour produit......	207,4
Le chromate..........................	229,8

» Peut-être est-il permis de comparer les sulfates $SO^3 + R^2O$ aux bo-

rates $B^2O^6 + 2R^2O$ en écrivant ces derniers sels $BO^3 + R^2O$, on trouve alors :

Sulfates $SO^3 + R^2O$........ 206,8
Borates $BO^3 + R^2O$........ 216,0

» Le sulfate de plomb peut alors être comparé au borate $BO^3 + PbO$. On a

Pour le sulfate de plomb..... 165,4
— borate de plomb..... 165,5

» Cette discussion nous conduit à donner une généralité encore plus grande à la loi des corps composés, telle que je l'ai donnée tout-à-l'heure, et à l'énoncer de la manière suivante :

» *Dans tous les corps composés, de même composition atomique et de constitution chimique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques.*

» Cette loi comprend, comme cas particulier, la loi de Dulong et Petit sur les corps simples; elle se trouve vérifiée par l'expérience exactement dans les mêmes limites que cette dernière.

» Les raisons que j'ai données dans mon premier Mémoire pour faire concevoir pourquoi la loi sur les chaleurs spécifiques des corps simples ne s'accorde pas rigoureusement avec les données de l'expérience, peuvent être répétées ici à l'occasion de la loi générale.

» La capacité calorifique des corps se compose de leur chaleur spécifique proprement dite et de la chaleur que ces corps absorbent à l'état de chaleur latente, en augmentant de volume. Le résultat donné par l'expérience est donc un résultat complexe, dans lequel, heureusement, la chaleur spécifique proprement dite domine assez pour que la loi élémentaire ne soit pas complétement voilée.

» Dans nos expériences nous déterminons les capacités calorifiques de tous les corps entre les mêmes limites de température; ces limites occupent nécessairement des positions très diverses sur l'échelle thermométrique propre de chaque substance. Il est probable que pour avoir des nombres tout-à-fait comparables pour les chaleurs spécifiques de deux corps, il faudrait prendre ces chaleurs spécifiques à des points très différents de l'échelle du thermomètre à mercure, par exemple les prendre pour les températures auxquelles les corps présentent la plus grande analogie dans leurs propriétés physiques et chimiques, l'isomorphisme le plus complet.

» Nous voyons en effet souvent un corps composé, doué d'un isomorphisme chimique parfait à une certaine température avec un certain corps, présenter à une autre température un isomorphisme tout aussi parfait avec un troisième.

» Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, le sulfate de manganèse cristallise à une température inférieure à 6° avec 7 équivalents d'eau dans une forme identique avec celle du sulfate de fer cristallisé à la température ordinaire, à tel point qu'un cristal de sulfate de fer continue à se développer d'une manière régulière, si on le maintient plongé dans une dissolution saturée de sulfate de manganèse au-dessous de 6°. La dissolution de ce même sulfate de manganèse donne des cristaux avec 5 at. d'eau et d'une forme tout-à-fait incompatible avec la première quand elle est maintenue à une température comprise entre 7 et 20°. Dans cette nouvelle forme le sulfate de manganèse est isomorphe avec le sulfate de cuivre cristallisé à la température ordinaire. Enfin entre 20 et 30° le sulfate cristallise avec 4 équivalents d'eau : sa forme cristalline, différente des deux premières, est maintenant identique avec celle du sulfate de fer cristallisé à 80°.

» Les isomorphismes chimiques d'un même corps peuvent donc changer complétement avec la température. Cette circonstance doit nécessairement exercer une influence sensible sur les variations des chaleurs spécifiques, la loi précédente paraissant s'appliquer d'autant plus rigoureusement à deux substances, que leur isomorphisme est plus parfait.

» Les corps qui se ramollissent entre les limites de température pour lesquelles on détermine leurs chaleurs spécifiques, renferment, outre leur chaleur spécifique et leur chaleur latente de dilatation, une portion notable de leur chaleur de fusion ou de désagrégation. J'ai déjà eu occasion d'insister sur cette cause de perturbation, lorsque j'ai discuté les résultats obtenus sur les alliages métalliques.

» Cette fusion lente et progressive des corps qui passent par l'état de mollesse, rend très incertaine la détermination de la chaleur latente qui est propre au changement d'état.

» Certains corps, principalement des oxides, prennent dans la nature, ou par une forte calcination, un très grand état d'agrégation qui correspond toujours à une diminution notable dans leur chaleur spécifique. La nature chimique des corps subit ainsi souvent une altération complète. Le corps dont les propriétés basiques ou acides étaient très prononcées avant le changement d'état, devient quelquefois complétement indifférent. Il n'est pas étonnant qu'un changement aussi complet dans les propriétés phy-

siques et chimiques en amène un tellement grand dans la chaleur spécifique du corps, que celui-ci sorte de la classe dans laquelle il devait se trouver naturellement par sa formule.

» En terminant ce Mémoire, j'ajouterai quelques expériences sur deux corps simples dont j'ai déjà traité dans mon premier travail, notamment sur le carbone et sur le soufre. Je n'ai rapporté dans mon Mémoire sur la chaleur spécifique des substances simples qu'une seule détermination du carbone: elle a été faite sur du charbon de bois purifié par les acides, puis fortement calciné. J'annonçais alors que je me proposais d'étudier avec soin le carbone dans ses différents états. C'est du résultat de cette étude que je vais entretenir l'Académie.

» Mes expériences ont porté :

» 1°. Sur un charbon de bois préalablement traité par les acides, puis fortement calciné;

» 2°. Sur du noir animal purifié par les acides, puis chauffé à une bonne chaleur blanche.

» Ce charbon renfermait encore une quantité notable de cendres. On est parvenu à lui donner un peu d'agrégation en imbibant le charbon avec de l'huile, puis le soumettant à une nouvelle calcination.

» 3°. Sur le coke provenant d'un cannel-coal anglais : ce coke renfermait 4,5 pour 100 de cendres;

» 4°. Sur un coke provenant d'une houille forte de Rive de Giers : il renfermait 2,5 pour 100 de cendres;

» 5°. Sur le coke obtenu avec une anthracite du pays de Galles; ce coke renfermait 3 pour 100 de cendres;

» 6°. Sur le charbon préparé avec une anthracite de Philadelphie : il renfermait 5,8 pour 100 de cendres ;

» 7°. Sur un graphite naturel;

» 8°. Sur un graphite de haut-fourneau préalablement traité par les acides;

» 9°. Sur un charbon métalloïde des cornues du gaz;

» 10°. Sur le diamant (1).

---

(1) Je dois ici témoigner toute ma reconnaissance à MM. Halphen frères, qui ont eu la complaisance de mettre à ma disposition la quantité de diamant nécessaire pour donner à mes expériences toute la précision desirable.

Noir animal	0,26085	0,26085
Charbon de bois	0,24150	0,24150
Coke du cannel-coal	0,20307	0,20307
Id. de la houille	0,20171	
	0,20001	0,20085
Charbon de l'anthracite du pays de Galles	0,20338	
	0,20007	0,20172
Charbon de l'anthacite de Philadelphie	0,20156	
	0,20064	
	0,20081	0,20100
Graphite naturel	0,20187	0,20187
Id. des hauts-fourneaux	0,19815	
	0,19590	0,19702
Id. des cornues du gaz	0,20360	0,20360
Diamant	0,14809	
	0,14580	
	0,14614	
	0,14738	
	0,14781	
	0,14600	0,14687

» Les expériences que je viens de donner sur le carbone fournissent pour cette substance, prise dans différents états, des chaleurs spécifiques très variables qui ne présentent aucune relation simple avec le poids atomique de cette substance.

» Le noir animal et le charbon de bois présentent la capacité calorifique la plus forte; mais l'expérience est sujette à un peu d'incertitude, à cause de la chaleur notable qui se dégage au moment où ces substances sont mouillées par l'eau.

» Les charbons obtenus par la calcination des houilles et des anthracites ont des capacités calorifiques très peu différentes de celle du graphite naturel et du graphite des hauts-fourneaux. Cette capacité est beaucoup plus faible que celle des charbons très divisés dont je viens de parler.

» Enfin, le diamant a une chaleur spécifique encore beaucoup plus faible que le graphite. Cette capacité n'est plus que de 0,147.

» Le carbone nous présente donc l'exemple d'un corps qui peut exister avec des capacités calorifiques variables dans des limites très étendues. Cette capacité calorifique est d'autant plus faible que son état d'agrégation est plus grand. Le carbone vient donc à l'appui de ce que je disais plus haut sur les variations que la capacité calorifique des corps peut éprouver par des changements survenus dans leur état d'agrégation.

» Le carbone forme une exception complète parmi les corps simples : il ne satisfait pas à la loi générale qui existe entre les chaleurs spécifiques et les poids atomiques. Je ne vois pour le moment d'autre manière pour expliquer cette anomalie, que d'admettre que le carbone, tel qu'il entre dans les composés, a une chaleur spécifique différente de celle que nous lui trouvons quand il a été isolé. C'est un point que je me propose d'étudier avec soin, lorsque je m'occuperai des composés gazeux qui renferment le carbone.

» Je me suis livré également à une série d'expériences sur le soufre, dont j'ai étudié la capacité calorifique dans ses divers états et pour différentes températures. Je réserve les résultats que j'ai obtenus pour un prochain Mémoire. Je me contenterai pour le moment, de rapporter une expérience sur le soufre mou, que je regarde comme assez curieuse pour mériter d'être portée tout de suite à la connaissance de l'Académie. Cette expérience vient d'ailleurs à l'appui de l'explication que j'ai cherché à donner plus haut, de l'incandescence que manifestent certains oxides pendant qu'on les calcine; j'attribue, comme on sait, cette incandescence à un changement subit qui survient dans la chaleur spécifique du corps.

» Le soufre mou m'a permis d'assister, pour ainsi dire, à un de ces changements de capacité calorifique.

» On sait que l'on obtient le soufre mou en coulant dans de l'eau bien froide, le soufre fondu dans un creuset et chauffé à 180 ou 200°, température à laquelle il devient très visqueux. Le soufre, ainsi brusquement refroidi, reste mou pendant plusieurs jours, mais à la longue il reprend son état ordinaire.

» Du soufre mou, desséché avec du papier brouillard, puis par une exposition de plusieurs heures sous le récipient de la machine pneumatique à côté d'acide sulfurique concentré, a été placé dans une corbeille de fil de laiton. La corbeille a été suspendue dans l'étuve, le réservoir du thermomètre occupant le vide central, par conséquent se trouvant complétement enveloppé par le soufre.

» Le maximum stationnaire auquel s'élevait le thermomètre de l'étuve, le jour où les expériences que je vais rapporter ont été faites, était 98° environ, une substance quelconque étant placée dans la corbeille.

» En suivant la marche du thermomètre de l'étuve dans les expériences sur le soufre mou, on voit celui-ci monter beaucoup plus rapidement qu'à l'ordinaire, au moment où il approche du maximum. Ainsi en une ou deux minutes le thermomètre passe de 93° à 98°, température qu'il n'at-

teint, dans les expériences ordinaires, qu'au bout d'un temps fort long, et à laquelle il reste ensuite stationnaire. Le maximum fut bientôt dépassé, le thermomètre marqua successivement 99°, 100°, 101°, 103°..., 105°..., 108°, enfin 110°, bien que l'étuve ne fût chauffée que par la vapeur de l'eau bouillante. Le thermomètre resta pendant 2 à 3 minutes stationnaire à 110°, puis il se mit à descendre jusqu'à 98°, qui est le maximum ordinaire et auquel il se maintint ensuite indéfiniment.

» Le soufre sorti de l'étuve, avait complétement changé de nature, il était devenu très dur, s'était beaucoup affaissé, les différents morceaux s'étaient fortement soudés les uns aux autres, la température à laquelle la matière avait été portée étant très voisine de son point de fusion.

» Nous avons donc ici l'exemple très curieux d'un corps qui, porté à 98° par une chaleur extérieure, s'échauffe lui-même jusqu'à 110° par un dégagement spontané d'une certaine quantité de chaleur qui, auparavant, était à l'état latent.

» Voyons maintenant à quoi l'on doit attribuer ce dégagement de chaleur. On peut en assigner deux causes.

» 1°. Le soufre mou renferme une portion de chaleur de fusion qu'il dégage tout d'un coup en se solidifiant. Cette chaleur produit nécessairement, au moment où elle devient libre, une élévation thermométrique du corps. Cette cause influe probablement sur le phénomène observé, mais elle est insuffisante pour expliquer tout le dégagement de chaleur, comme on le verra quand je donnerai les nombres que j'ai trouvés pour la chaleur latente de fusion totale du soufre.

» 2°. Le soufre, dans sa modification de soufre mou, a une capacité calorifique plus grande que celle du soufre ordinaire. Le soufre mou est d'ailleurs dans un état d'équilibre instable : il revient lentement à son état normal à la température ordinaire ; mais quand il est chauffé à une température voisine de 100°, cette transformation est très rapide, elle est brusque, et détermine le dégagement d'une quantité considérable de chaleur par le fait du changement de chaleur spécifique.

» C'est à cette seconde cause qu'il faut attribuer, à mon avis, le phénomène que j'ai observé. Je me bornerai pour le moment à ce que je viens de dire, me proposant d'étudier en détail tous les phénomènes de cette nature dans le Mémoire que j'ai eu plusieurs fois l'occasion d'annoncer à l'Académie. »

MÉCANIQUE CÉLESTE. — *Méthodes propres à simplifier le calcul des inégalités périodiques et séculaires des mouvements des planètes; par* M. AUGUSTIN CAUCHY.

« Le calcul des perturbations des mouvements planétaires dépend, comme l'on sait, du développement d'une certaine fonction R appelée la fonction perturbatrice. Déjà, dans les Mémoires publiés à Turin, en 1831 et 1832, ainsi que dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* (voir les nos 11 et 12 du 2e semestre de 1840), j'ai donné des formules qui permettent d'obtenir directement le coefficient d'un terme quelconque correspondant à une inégalité donnée, dans le développement de la fonction R en une série de sinus et de cosinus d'arcs qui varient proportionnellement au temps. Mais la convergence de cette série est assez lente; et comme, par suite, le nombre des termes que l'on devra conserver dans le développement de la fonction perturbatrice R est très considérable, il importait de réduire la détermination numérique des coefficients de ces mêmes termes à la recherche des développements de R ou d'autres fonctions en séries dont la convergence fût plus rapide. Or, pour atteindre ce but, il suffit de développer d'abord la partie de R qui correspond à deux planètes en une série simple, ordonnée suivant les puissances négatives de la distance qui séparerait ces deux planètes, si les plans de leurs orbites coïncidaient, et si le mouvement elliptique de chacune d'elles se réduisait au mouvement circulaire; puis, de développer les coefficients des puissances négatives dont il s'agit en séries de sinus et de cosinus d'arcs proportionnels au temps. Après ces deux opérations la fonction R se trouvera représentée par une série multiple dont les divers termes seront précisément de la forme qu'a indiquée M. Liouville dans son beau Mémoire du 11 juillet 1836; en sorte qu'on pourra immédiatement faire servir les fonctions elliptiques au calcul des perturbations planétaires. Ajoutons que de cette série multiple on passera facilement à celle qui représente le développement de R uniquement ordonné suivant des sinus et cosinus d'arcs proportionnels au temps, attendu que le coefficient de chaque terme dans la seconde série se trouvera exprimé par une fonction linéaire des coefficients de divers termes de la première. On voit donc combien il était à desirer que l'on pût disposer les calculs qui doivent conduire à la première série de manière à les rendre facilement exécutables. Cette condition se trouvera effectivement remplie, si l'on suit la marche que j'exposerai ci-après.

ANALYSE.

§ Ier. *Considérations générales.*

» Soient

m, m' les masses de deux planètes,
r, r' leurs distances au centre du Soleil,
v leur distance mutuelle,
δ l'angle sous lequel cette distance est vue du centre du Soleil.

Dans la *fonction perturbatrice* R, relative à la planète m, la partie correspondante à la planète m' sera

$$\frac{m'r}{r'^2}\cos\delta - \frac{m'}{v},$$

en sorte qu'on aura

$$\text{(1)} \qquad R = \frac{m'r}{r'^2}\cos\delta + \ldots - \frac{m'}{v} - \ldots,$$

la valeur de v étant

$$\text{(2)} \qquad v = (r^2 - 2rr'\cos\delta + r'^2)^{\frac{1}{2}}.$$

Soient d'ailleurs, dans les ellipses osculatrices des courbes décrites par les planètes m, m',

p, p' les *longitudes* de ces planètes,
ψ, ψ' leurs *anomalies excentriques*,
T, T' leurs *anomalies moyennes*,
a, a' les *demi-grands axes*,
ε, ε' les *excentricités*,
ϖ, ϖ' les *longitudes des périhélies*,
τ, τ' les *instants des passages* des planètes m, m' par ces périhélies.

Enfin, M étant la masse du Soleil, posons

$$c = \left(\frac{M+m}{a^3}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad c' = \left(\frac{M+m'}{a'^3}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Les anomalies moyennes T, T' seront liées au temps t par les équations linéaires

$$T = c(t-\tau), \quad T' = c'(t-\tau');$$

et si l'on pose encore

$$\varkappa = (1 - \varepsilon^2)^{\frac{1}{2}}, \quad \varkappa' = (1 - \varepsilon'^2)^{\frac{1}{2}},$$

les équations du mouvement elliptique de chaque planète seront de la forme

$$(3) \qquad r = a(1 - \varepsilon \cos \psi),$$

$$(4) \qquad \cos(p - \varpi) = \frac{\cos\psi - \varepsilon}{1 - \varepsilon\cos\psi}, \quad \sin(p - \varpi) = \frac{\varkappa \sin\psi}{1 - \varepsilon\cos\psi},$$

ψ étant une fonction implicite de T, déterminée par la formule

$$(5) \qquad \psi - \varepsilon \sin\psi = T.$$

Ajoutons que, si, en nommant I l'inclinaison mutuelle des plans des deux orbites, on prend

$$\mu = \cos^2 \frac{I}{2}, \quad \nu = \sin^2 \frac{I}{2},$$

on aura

$$(6) \qquad \cos\delta = \mu\cos(p' - p + \Pi) + \nu\cos(p' + p + \Phi),$$

Π, Φ désignant deux constantes qui dépendent des positions de ces mêmes plans.

» Cela posé, pour déterminer les diverses inégalités périodiques ou séculaires, produites dans le mouvement de la planète m par l'action de la planète m', on devra développer suivant les puissances entières des exponentielles trigonométriques

$$e^{T\sqrt{-1}}, \quad e^{T'\sqrt{-1}},$$

les deux termes qui sont proportionnels à m' dans le second membre de la formule (1), c'est-à-dire les deux expressions

$$\frac{m'r}{r'^2}\cos\delta, \quad -\frac{m'}{\imath},$$

ou, ce qui revient au même, les deux fonctions

$$(7) \qquad \frac{r\cos\delta}{r'^2} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\imath}.$$

D'ailleurs on tirera des équations (3) et (4)

$$\frac{r}{a}\cos(p-\varpi) = \cos\psi - \varepsilon, \quad \frac{r}{a}\sin(p-\varpi) = \varkappa\sin\psi,$$

et par suite

$$(8)\left\{\frac{r}{a}e^{(p-\varpi)\sqrt{-1}} = \cos\psi - \varepsilon + \varkappa\sin\psi\sqrt{-1}, \quad \frac{r}{a}e^{-(p-\varpi)\sqrt{-1}} = \cos\psi - \varepsilon - \varkappa\sin\psi\sqrt{-1};\right.$$

puis on conclura des formules (6) et (8)

$$(9)\left\{\begin{aligned}\frac{rr'}{aa'}\cos\delta = \frac{1}{2}\mu\left\{\begin{aligned}&e^{(\Pi-\varpi+\varpi')\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'+\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon-\varkappa\sin\psi\sqrt{-1})\\ &+e^{-(\Pi-\varpi+\varpi')\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'-\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon+\varkappa\sin\psi\sqrt{-1})\end{aligned}\right.\\ +\frac{1}{2}\nu\left\{\begin{aligned}&e^{(\Phi+\varpi+\varpi')\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'+\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon+\varkappa\sin\psi\sqrt{-1})\\ &+e^{-(\Phi+\varpi+\varpi')\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'-\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon-\varkappa\sin\psi\sqrt{-1}).\end{aligned}\right.\end{aligned}\right.$$

Enfin, si, en apportant une légère modification aux notations ci-dessus admises, afin de simplifier l'équation (9), on représente par

$$\Pi + \varpi - \varpi', \quad \Phi - \varpi - \varpi',$$

les deux constantes jusqu'ici représentées par Π et Φ, les équations (6) et (9) deviendront

$$(10)\quad \cos\delta = \mu\cos(p'-\varpi'-p+\varpi+\Pi) + \nu\cos(p'-\varpi'+p-\varpi+\Phi),$$

et

$$(11)\left\{\begin{aligned}\frac{rr'}{aa'}\cos\delta = \frac{1}{2}\mu\left\{\begin{aligned}&e^{\Pi\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'+\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon-\varkappa\sin\psi\sqrt{-1})\\ &+e^{-\Pi\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'-\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon+\varkappa\sin\psi\sqrt{-1})\end{aligned}\right.\\ +\frac{1}{2}\nu\left\{\begin{aligned}&e^{\Phi\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'+\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon+\varkappa\sin\psi\sqrt{-1})\\ &+e^{-\Phi\sqrt{-1}}(\cos\psi'-\varepsilon'-\varkappa'\sin\psi'\sqrt{-1})(\cos\psi-\varepsilon-\varkappa\sin\psi\sqrt{-1}).\end{aligned}\right.\end{aligned}\right.$$

Or, eu égard aux formules (2), (3) et (11), les quantités (7), dont la première est égale au rapport

$$\frac{rr'\cos\delta}{r'^3},$$

pourront être immédiatement exprimées en fonction des anomalies excentriques

$$\psi \quad \text{et} \quad \psi',$$

et développées en séries qui soient ordonnées suivant les puissances entières positives ou négatives des exponentielles trigonométriques

$$e^{\psi\sqrt{-1}}, \quad e^{\psi'\sqrt{-1}},$$

ou bien encore en séries qui soient ordonnées suivant les puissances entières positives ou négatives des exponentielles trigonométriques

$$e^{T\sqrt{-1}}, \quad e^{T'\sqrt{-1}}.$$

D'ailleurs la recherche des développements de la seconde espèce pourra être réduite au calcul de termes contenus dans d'autres développements de la première espèce, en vertu des théorèmes que nous allons énoncer.

» 1er *Théorème.* Soit ϖ une fonction de la variable ψ liée à la variable T par l'équation (5), et n une quantité entière positive ou négative; le coefficient ϖ_n de

$$e^{nT\sqrt{-1}},$$

dans le développement de ϖ en série ordonnée suivant les puissances entières de $e^{T\sqrt{-1}}$, sera en même temps le coefficient de

$$e^{n\psi\sqrt{-1}},$$

dans le développement de l'un quelconque des deux produits

$$(1 - \varepsilon\cos\psi)\varpi e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}, \quad \frac{1}{n\sqrt{-1}} e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}} D_\psi \varpi,$$

en série ordonnée suivant les puissances entières de $e^{\psi\sqrt{-1}}$.

» *Démonstration.* En effet, si l'on pose

$$\varpi = \Sigma \varpi_n e^{nT\sqrt{-1}},$$

le signe Σ s'étendant à toutes les valeurs entières positives, nulle ou négatives de n, on en conclura

(12) $$\varpi_n = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \varpi e^{-nT\sqrt{-1}}\, dT,$$

puis, en intégrant par parties,

(13) $$\varpi_n = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{1}{n\sqrt{-1}} e^{-nT\sqrt{-1}} \mathrm{D}_T\varpi . dT.$$

Si maintenant on a égard à la formule (5), les équations (12), (13) deviendront :

(14) $$\left\{\begin{aligned} \varpi_n &= \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (1 - \varepsilon\cos\psi)\varpi e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}} e^{-n\psi\sqrt{-1}}\, d\psi, \\ \varpi_n &= \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{1}{n\sqrt{-1}} e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}} \mathrm{D}_\psi\varpi . e^{-n\psi\sqrt{-1}}\, d\psi, \end{aligned}\right.$$

et de ces dernières, comparées à la formule (12), on déduira immédiatement le théorème 1er.

» Au reste, le théorème 1er qui se déduit aisément, comme on vient de le voir, des propriétés d'intégrales définies déjà employées par les géomètres dans les problèmes d'astronomie, pourrait se déduire encore du théorème de Lagrange sur le développement en série des fonctions implicites.

» *Corollaire* 1er. Si l'on pose en particulier $n = 0$, les équations (12) et (14) donneront

(15) $$\varpi_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \varpi\, dT = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (1 - \varepsilon\cos\psi)\varpi\, d\psi.$$

Cette dernière formule entraîne évidemment la proposition suivante :

» 2me *Théorème*. Le terme constant, c'est-à-dire indépendant de l'exponentielle $e^{T\sqrt{-1}}$, dans le développement de la fonction ϖ en série ordonnée suivant les puissances entières de cette exponentielle, sera aussi le terme constant du développement de la fonction

$$\varpi(1 - \cos\psi)$$

en série ordonnée suivant les puissances entières de $e^{\psi\sqrt{-1}}$.

» Des théorèmes 1 et 2 on déduit encore immédiatement ceux que nous allons énoncer.

» 3me *Théorème*. Soient ϖ une fonction des variables ψ, ψ', liées aux va-

riables T, T' par les deux équations

$$\psi - \varepsilon \sin\psi = T, \quad \psi' - \varepsilon' \sin\psi' = T';$$

et n, n' deux quantités entières positives ou négatives. Le coefficient $\mho_{n,n'}$ de l'exponentielle trigonométrique

$$e^{(nT+n'T')\sqrt{-1}},$$

dans le développement de la fonction $\mho$ en série ordonnée suivant les puissances entières de

$$e^{T\sqrt{-1}}, \quad e^{T'\sqrt{-1}},$$

sera en même temps le coefficient de

$$e^{(n\psi+n'\psi')\sqrt{-1}},$$

dans le développement de l'une quelconque des quatre fonctions

$$(1 - \varepsilon\cos\psi)(1 - \varepsilon'\cos\psi')\,\mho\, e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}} e^{n'\varepsilon'\sin\psi'\sqrt{-1}},$$
$$\frac{1}{n'\sqrt{-1}}(1 - \varepsilon\cos\psi)\, e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}\, e^{n'\varepsilon'\sin\psi'\sqrt{-1}} D_{\psi'}\mho,$$
$$\frac{1}{n\sqrt{-1}}(1 - \varepsilon'\cos\psi') e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}\, e^{n'\varepsilon'\sin\psi'\sqrt{-1}} D_{\psi}\mho,$$
$$-\frac{1}{nn'}\, e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}\, e^{n'\varepsilon'\sin\psi'\sqrt{-1}} D_{\psi}D_{\psi'}\mho,$$

en série ordonnée suivant les puissances entières de $e^{\psi\sqrt{-1}}$, $e^{\psi'\sqrt{-1}}$.

» 4[me] *Théorème*. Les mêmes choses étant posées que dans le théorème précédent, le terme constant $\mho_{0,0}$ du développement de la fonction $\mho$ en série ordonnée suivant les puissances entières des exponentielles

$$e^{T\sqrt{-1}}, \quad e^{T'\sqrt{-1}},$$

sera aussi le terme constant du développement de la fonction

$$\mho(1 - \varepsilon\cos\psi)(1 - \varepsilon'\cos\psi'),$$

en série ordonnée suivant les puissances entières des exponentielles

$$e^{\psi\sqrt{-1}}, \quad e^{\psi'\sqrt{-1}}.$$

§ II. *Développement de la fonction* $\frac{r\cos\delta}{r'^2}$.

» La fonction

$$\frac{r\cos\delta}{r'^2}$$

pouvant être présentée sous la forme

$$\frac{rr'\cos\delta}{r'^3},$$

il résulte des formules (3) et (4) du § Ier, que l'on pourra immédiatement développer cette fonction suivant les puissances entières de $e^{T\sqrt{-1}}$, $e^{T'\sqrt{-1}}$, si l'on sait développer de la même manière un quelconque des quatre produits compris dans la formule

$$(\cos\psi - \varepsilon \pm \varkappa \sin\psi\sqrt{-1})\frac{\cos\psi' - \varepsilon' \pm \varkappa\sin\psi'}{(1-\varepsilon'\cos\psi')^3},$$

ou, ce qui revient au même, si l'on sait développer, suivant les puissances entières de $e^{T\sqrt{-1}}$, chacune des deux expressions

$$\cos\psi - \varepsilon + \varkappa\sin\psi\sqrt{-1},\quad \frac{\cos\psi - \varepsilon + \varkappa\sin\psi\sqrt{-1}}{(1-\varepsilon\cos\psi)^3},$$

desquelles on déduit immédiatement les deux suivantes

$$\cos\psi - \varepsilon - \varkappa\sin\psi\sqrt{-1},\quad \frac{\cos\psi - \varepsilon - \varkappa\sin\psi\sqrt{-1}}{(1-\varepsilon\cos\psi)^3},$$

en changeant seulement le signe de $\sqrt{-1}$. Or si l'on pose d'abord

$$(1)\qquad \upsilon = \cos\psi - \varepsilon + \varkappa\sin\psi\sqrt{-1},$$

on trouvera

$$\frac{1}{\sqrt{-1}}D_\psi\upsilon = \varkappa\cos\psi + \sin\psi\sqrt{-1};$$

et, en vertu du 1er théorème du § I, le coefficient υ_n de $e^{nT\sqrt{-1}}$, dans le développement de la fonction υ, se réduira au coefficient $e^{n\psi\sqrt{-1}}$ dans le

développement du produit

$$\frac{1}{n}\left(x\cos\psi+\sin\psi\sqrt{-1}\right)e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}},$$

ou, ce qui revient au même, au terme indépendant de $e^{\psi\sqrt{-1}}$, dans le développement de la fonction

$$\frac{1}{n}\left(x\cos\psi+\sin\psi\sqrt{-1}\right)e^{-n\psi\sqrt{-1}}\,e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}.$$

Or, comme on a généralement

$$e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}=\sum\frac{(n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1})^k}{1.2\ldots k},$$

le signe Σ s'étendant à toutes les valeurs entières nulle ou positives de k; si l'on désigne par

$$\mathfrak{N}_{i,\,j,\,k}$$

le terme indépendant de $e^{\psi\sqrt{-1}}$ dans le développement du produit

$$e^{i\psi\sqrt{-1}}\,(\varepsilon\cos\psi)^j\,(2\sin\psi\sqrt{-1})^k,$$

ou, ce qui revient au même, le terme indépendant de x dans le développement du produit

$$x^i\,(x+x^{-1})^j\,(x-x^{-1})^k,$$

on aura

$$u_n=\sum\frac{1}{2}\left(\mathfrak{N}_{-n,\,1,\,k}\,x+\mathfrak{N}_{-n,\,0,\,k+1}\right)\frac{n^{k-1}}{1.2\ldots k}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^n. \tag{2}$$

Il y a plus: les quantités entières de la forme $\mathrm{N}_{i,\,j,\,k}$, sont évidemment liées les unes aux autres par les équations

$$\left\{\begin{aligned}\mathfrak{N}_{i,\,j,\,k}&=\mathfrak{N}_{i+1,\,j-1,\,k}+\mathfrak{N}_{i-1,\,j-1,\,k},\\ \mathfrak{N}_{i,\,j,\,k}&=\mathfrak{N}_{i+1,\,j,\,k-1}-\mathfrak{N}_{i-1,\,j,\,k-1};\end{aligned}\right. \tag{3}$$

et, si l'on désigne à l'aide de la notation

$$(\mathrm{l})_k$$

le coefficient de x^k dans le développement du binome

$$(1 + x)^{\mathrm{l}},$$

c'est-à-dire si l'on pose

$$(4) \qquad (\mathrm{l})_k = \frac{\mathrm{l}(\mathrm{l}-1)\ldots(\mathrm{l}-k+1)}{1.2.3\ldots k},$$

on aura

$$(5) \quad \begin{cases} \mathcal{N}_{-n,0,k+1} = (-1)^{\frac{k-n+1}{2}} (k+1)_{\frac{k-n+1}{2}}, \\ \mathcal{N}_{-n,1,k} = \mathcal{N}_{-n+1,0,k} + \mathcal{N}_{-n-1,0,k} \\ \qquad\quad = (-1)^{\frac{k-n+1}{2}} \left[(k)_{\frac{k-n+1}{2}} - (k)_{\frac{k-n-1}{2}} \right]. \end{cases}$$

Ajoutons que, si l'on prend $n = 0$, la valeur de ϖ_n réduite à ϖ_0 sera, en vertu du 2e théorème du § Ier, égale au terme qui reste indépendant de $e^{\psi\sqrt{-1}}$ dans le développement du produit

$$(1 - \varepsilon\cos\psi)\varpi = (1 - \varepsilon\cos\psi)(k\sin\psi - \varepsilon + \varkappa\sin\psi\sqrt{-1})$$
$$= \left[1 - \frac{1}{2}\varepsilon\left(e^{\psi\sqrt{-1}} + e^{-\psi\sqrt{-1}}\right)\right]\left[(1+\varkappa)e^{\psi\sqrt{-1}} - \varepsilon + (1-\varkappa)e^{-\psi\sqrt{-1}}\right],$$

de sorte qu'on aura

$$(6) \qquad \varpi_0 = -2\varepsilon.$$

» Posons maintenant

$$(7) \qquad \varpi = \frac{\cos\psi - \varepsilon + \varkappa\sin\psi\sqrt{-1}}{(1 - \varepsilon\cos\psi)^3}.$$

Alors, en vertu du théorème 1er du § précédent, le coefficient ϖ_n de $e^{nT\sqrt{-1}}$ dans le développement de la fonction ϖ, se réduira au coefficient de $e^{n\psi\sqrt{-1}}$ dans le développement du rapport

$$(8) \qquad \frac{\cos\psi - \varepsilon + \varkappa\sin\psi\sqrt{-1}}{(1 - \varepsilon\cos\psi)^2}\, e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}.$$

D'ailleurs si l'on pose, pour abréger,

$$\eta = \frac{1-\varkappa}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{1+\varkappa},$$

c'est-à-dire, en d'autres termes, si l'on désigne par η la tangente de la moitié de l'angle qui a pour sinus ε, on trouvera

$$\cos\psi - \varepsilon + k\sin\psi\sqrt{-1} = \frac{\varepsilon}{2\eta}\, e^{\psi\sqrt{-1}}\left(1 - \eta\, e^{-\psi\sqrt{-1}}\right)^2,$$

$$1 - \varepsilon\cos\psi = \frac{\varepsilon}{2\eta}\left(1 - \eta\, e^{-\psi\sqrt{-1}}\right)\left(1 - \eta\, e^{\psi\sqrt{-1}}\right),$$

et par suite

$$\frac{\cos\psi - \varepsilon + k\sin\psi\sqrt{-1}}{(1-\cos\psi)^2} = \frac{2\eta}{\varepsilon}\, e^{\psi\sqrt{-1}}\left(1 - \eta\, e^{\psi\sqrt{-1}}\right)^{-2}.$$

Donc l'expression (8) deviendra

$$\frac{2\eta}{\varepsilon}\, e^{\psi\sqrt{-1}}\left(1 - \eta e^{\psi\sqrt{-1}}\right)^{-2} e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}},$$

et le coefficient $\varkappa_n$ de $e^{nT\sqrt{-1}}$, dans la fonction $\varkappa$, se réduira au terme qui restera indépendant de $e^{\psi\sqrt{-1}}$ dans le développement du produit

$$(9)\qquad \frac{2\eta}{\varepsilon}\, e^{-(n-1)\psi\sqrt{-1}}\left(1 - \eta e^{\psi\sqrt{-1}}\right)^{-2} e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}},$$

de sorte qu'en ayant égard à la formule

$$\left(1 - \eta e^{\psi\sqrt{-1}}\right)^{-2} = \Sigma\,(h+1)\,\eta^h e^{h\psi\sqrt{-1}},$$

on trouvera

$$(10)\qquad \varkappa_n = \sum (h+1)\mathfrak{N}_{h-n+1,\,0,\,k}\,\frac{n^k}{1.2\ldots k}\,\eta^{h+1}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^{k-1},$$

le signe Σ s'étendant à toutes les valeurs entières nulles ou positives de h et de k.

» Si, dans la formule (10), on réduit le nombre n à zéro, elle donnera simplement

$$(11)\qquad \varkappa_0 = 0,$$

attendu que, pour $n = 0$, le produit (9), réduit à la forme

$$\frac{2\eta}{\varepsilon} e^{\psi\sqrt{-1}} (1 - \eta e^{\psi\sqrt{-1}})^{-2}$$

$$= \frac{2\eta}{\varepsilon} (e^{\psi\sqrt{-1}} + 2\eta e^{2\psi\sqrt{-1}} + 3\eta^2 e^{3\psi\sqrt{-1}} + \ldots),$$

ne renferme pas de terme indépendant de l'exponentielle $e^{\psi\sqrt{-1}}$.

§ III. *Sur le développement de la fonction* $\frac{1}{v}$.

» En vertu de l'équation (2) du § Ier, on a

$$(1) \qquad v^2 = r^2 - 2rr' \cos\delta + r'^2.$$

D'autre part, si l'on réduit à zéro les excentricités ε, ε', ainsi que l'inclinaison mutuelle I des orbites décrites par les planètes m, m', on tirera des formules (3), (4), (5) du § Ier,

$$r = a; \quad p - \varpi = \psi = T,$$

et

$$r' = a', \quad p' - \varpi' = \psi' = T';$$

et, comme on aura

$$\mu = 1, \quad \nu = 0,$$

la formule (10) du même paragraphe donnera

$$\cos\delta = \cos(T' - T + \Pi),$$

en sorte que l'équation (1) se trouvera réduite à

$$(2) \qquad v^2 = a^2 - 2aa' \cos(T' - T + \Pi) + a'^2.$$

» Posons maintenant, pour abréger,

$$(3) \qquad \frac{1}{2}\left(\frac{a'}{a} + \frac{a}{a'}\right) = \lambda;$$

la formule (2) deviendra

$$v^2 = 2aa' [\lambda - \cos(T' - T + \Pi)];$$

et si, dans le cas où chacune des quantités

$$\varepsilon,\ \varepsilon',\ I$$

diffère de zéro, on pose

$$(4)\qquad \iota^2 = 2aa'[\lambda - \cos(T' - T + \Pi) + \vartheta],$$

la quantité ϑ restera généralement très petite en même temps que ε', ε', I. Alors aussi $2aa'\vartheta$ représentera la différence entre les deux valeurs de ι^2 que fournissent les équations (1) et (2), en sorte que l'on aura

$$2aa'\vartheta = r^2 - a^2 + r'^2 - a'^2 - 2rr'\cos\delta + 2aa'\cos(T' - T + \Pi),$$

et par suite

$$(5)\qquad \vartheta = \frac{1}{2}\frac{a}{a'}\left(\frac{r^2}{a^2} - 1\right) + \frac{1}{2}\frac{a'}{a}\left(\frac{r'^2}{a'^2} - 1\right) - \frac{r}{a}\frac{r'}{a'}\cos\delta + \cos(T' - T + \Pi).$$

» D'autre part, en posant, pour abréger,

$$(6)\qquad \Lambda = [\lambda - \cos(T' - T + \Pi)]^{-\frac{1}{2}},$$

on tirera de la formule (4)

$$(7)\qquad \frac{1}{\iota} = (2aa')^{-\frac{1}{2}} \sum \frac{\vartheta^l}{1.2\ldots l} D_\lambda^l \Lambda,$$

le signe Σ s'étendant à toutes les valeurs entières nulle ou positives de l. Or il suit de l'équation (7) qu'il deviendra facile de développer $\frac{1}{\iota}$ en série ordonnée suivant les puissances entières des exponentielles

$$e^{T\sqrt{-1}},\quad e^{T'\sqrt{-1}},$$

dès que l'on aura développé séparément en séries de cette espèce les deux fonctions

$$\vartheta^l \quad \text{et} \quad \Lambda.$$

En effet, supposons d'un côté

$$(8)\qquad \Lambda = \Sigma \Lambda_n e^{n(T' - T)\sqrt{-1}},$$

et d'un autre côté

$$(9) \qquad \mathfrak{v}^{\mathrm{l}} = \Sigma \mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n, n'} e^{(nT + n'T')\sqrt{-1}},$$

le signe Σ s'étendant à toutes les valeurs entières de n, ou de n et n'; on aura généralement

$$(10) \qquad \mathrm{A}_{-n} = \mathrm{A}_n,$$

et il est clair que, dans le développement du produit

$$\mathfrak{v}^{\mathrm{l}} \mathrm{D}^{\mathrm{l}}_{\lambda} \mathrm{A},$$

le coefficient de

$$e^{(nT + n'T')\sqrt{-1}}$$

sera

$$(11) \qquad \begin{cases} \mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n, n'} \mathrm{D}^{\mathrm{l}}_{\lambda} \mathrm{A}_0 + \mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n+1, n'-1} \mathrm{D}^{\mathrm{l}}_{\lambda} \mathrm{A}_1 + \mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n+2, n'-2} \mathrm{D}^{\mathrm{l}}_{\lambda} \mathrm{A}_2 + \ldots \\ \qquad + \mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n-1, n'+1} \mathrm{D}^{\mathrm{l}}_{\lambda} \mathrm{A}_1 + \mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n-2, n'+2} \mathrm{D}^{\mathrm{l}}_{\lambda} \mathrm{A}_2 + \ldots \end{cases}$$

Donc ce coefficient pourra être considéré comme une fonction linéaire des quantités de la forme

$$\mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n+k, n'-k},$$

multipliées chacune par un facteur de la forme

$$\mathrm{D}^{\mathrm{l}}_{\lambda} \mathrm{A}_k.$$

Il est même important d'observer que les diverses valeurs de

$$\mathfrak{v}^{(\mathrm{l})}_{n+k, n'-k}$$

représenteront les coefficients des diverses puissances de $e^{(T'-T)\sqrt{-1}}$ dans une seule partie du développement de $\mathfrak{v}^{\mathrm{l}}$ en série ordonnée suivant les puissances entières des deux exponentielles

$$e^{T\sqrt{-1}}, \quad e^{(T'-T)\sqrt{-1}},$$

savoir, dans la partie de ce développement qui sera proportionnelle à l'exponentielle

$$e^{(n+n')T\sqrt{-1}}.$$

Cette remarque très simple permet d'obtenir la somme (11) à l'aide du théorème que nous allons énoncer.

» *Théorème.* Posons

$$\text{(12)} \qquad \mho = \Sigma \mho_n e^{nT\sqrt{-1}}$$

et plus généralement

$$\text{(13)} \qquad \mho^l = \Sigma \mho_n^{(l)} e^{nT\sqrt{-1}},$$

$\mho_n$ et $\mho_n^{(l)}$ désignant des fonctions de la seule exponentielle

$$e^{(T'-T)\sqrt{-1}}.$$

Quand on voudra obtenir le coefficient de

$$e^{(nT+n'T')\sqrt{-1}}$$

dans le développement du produit $\mho^l D_\lambda^l \Lambda$, il suffira de chercher le coefficient de l'exponentielle

$$e^{n'(T'-T)\sqrt{-1}},$$

dans le développement du produit

$$\mho_{n+n'}^{(l)} D_\lambda^l \Lambda.$$

» Observons encore que du développement de la fonction $\mho$ l'on déduira aisément, par des multiplications successives, les développements de $\mho^2, \mho^3, \ldots, \mho^l$. Donc des diverses valeurs de $\mho_n$, supposées connues, on pourra aisément déduire les diverses valeurs de $\mho_n^{(l)}$.

» En vertu de ce qu'on vient de dire, pour réduire la recherche du développement de $\frac{1}{r}$ à celle du développement de $\mho$, il suffit de connaître les valeurs numériques des facteurs de la forme

$$D_\lambda^l \Lambda_k.$$

» M. Le Verrier a donc exécuté un travail fort utile pour l'astronomie, en construisant des tables qui fournissent avec exactitude ces valeurs numériques. Il est d'ailleurs généralement très avantageux de substituer le dé-

veloppement de la fonction $\frac{1}{v}$ à celui de la fonction ϖ, attendu que des deux séries multiples, produites par ces développements, la première converge très lentement, tandis que la convergence de la seconde est pour l'ordinaire très rapide. En raison de cette dernière circonstance, on pourrait employer avec succès, pour développer ϖ et ϖ' en séries, ou les formules d'interpolation connues, qui reposent sur les propriétés des racines de l'unité, et que j'ai précédemment appliquées à des problèmes de mécanique céleste dans mon Mémoire de 1832, ou la nouvelle formule d'interpolation que j'ai donnée en 1835, ou bien encore celle que M. Le Verrier a présentée récemment à l'Académie. Au reste, on pourra aussi développer facilement en série la fonction ϖ, en partant de la formule (5), et ayant recours aux théorèmes établis dans le premier paragraphe. Déjà nous avons ainsi obtenu le développement de la fonction

$$\cos\psi - \varepsilon + x \sin\psi \sqrt{-1},$$

duquel on déduira immédiatement ceux des fonctions

$$\cos\psi - \varepsilon \pm x \sin\psi \sqrt{-1}, \quad \cos\psi' - \varepsilon' \pm x' \sin\psi' \sqrt{-1},$$

par conséquent celui de la fonction

$$\frac{r}{a}\frac{r'}{a'}\cos\delta,$$

déterminée par la formule (11) du § II. Or, en effaçant dans le dernier développement la portion équivalente à $\cos(T' - T + \Pi)$, et changeant le signe du reste, on obtiendra la partie du développement de ϖ qui représente le binome

$$-\frac{rr'}{aa'}\cos\delta + \cos(T' - T + \Pi).$$

Pour être en état de calculer l'autre partie ou le développement de la somme

$$\frac{1}{2}\frac{a}{a'}\left(\frac{r^2}{a^2} - 1\right) + \frac{1}{2}\frac{a'}{a}\left(\frac{r'^2}{a'^2} - 1\right),$$

il suffira de savoir développer l'expression

$$\frac{r^2}{a^2} - 1$$

en une série ordonnée suivant les puissances ascendantes de $e^{T\sqrt{-1}}$. Or il résulte immédiatement du 1er théorème du § Ier, que le coefficient de

$$e^{nT\sqrt{-1}},$$

dans cette série, sera le terme indépendant de $e^{\psi\sqrt{-1}}$, dans le développement du produit

$$\frac{1}{n\sqrt{-1}}\, e^{-n\psi\sqrt{-1}}\, e^{n\varepsilon\sin\psi\sqrt{-1}}\, D_\psi\left(\frac{r^2}{a^2}\right).$$

Donc, puisque l'on a

$$D_\psi\left(\frac{r^2}{a^2}\right) = D_\psi(1-\varepsilon\cos\psi)^2 = 2\varepsilon(1-\varepsilon\cos\psi)\sin\psi,$$

le coefficient dont il s'agit sera, pour $n > 0$,

$$(14) \qquad \Sigma\left(\mathfrak{N}_{-n,1,k+1}\,\varepsilon - 2\mathfrak{N}_{-n,0,k+1}\right)\frac{n^{k-1}}{1.2.3\ldots k}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^{k+1}.$$

Ajoutons que le terme correspondant à $n=0$, c'est-à-dire le terme indépendant de $e^{T\sqrt{-1}}$, dans le développement de la différence

$$\frac{r^2}{a^2} - 1,$$

sera, en vertu du 2e théorème [§ Ier], équivalent au terme indépendant de $e^{\psi\sqrt{-1}}$, dans le développement du produit

$$(1-\varepsilon\cos\psi)^3 - (1-\varepsilon\cos\psi)$$
$$= \left[1 - \frac{\varepsilon}{2}\left(e^{\psi\sqrt{-1}} + e^{-\psi\sqrt{-1}}\right)\right]^3 - \left[1 - \frac{\varepsilon}{2}\left(e^{\psi\sqrt{-1}} + e^{-\psi\sqrt{-1}}\right)\right],$$

par conséquent à la quantité

$$\frac{3}{2}\,\varepsilon^2.$$

» Lorsqu'on se propose en particulier de trouver le terme indépendant de $e^{T\sqrt{-1}}$ dans le développement de la fonction $\frac{1}{\tau}$, ou, ce qui revient au

même, le terme indépendant de $e^{\psi\sqrt{-1}}$ dans le développement du rapport

$$\frac{1 - \varepsilon \cos \psi}{v},$$

il est avantageux de remplacer les équations (4) et (5) par les deux suivantes

$$v^2 = 2aa' [\lambda - \cos(\psi' - \psi + \Pi) + \varepsilon],$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\frac{a}{a'}\left(\frac{r^2}{a^2} - 1\right) + \frac{1}{2}\frac{a'}{a}\left(\frac{r'^2}{a'^2} - 1\right) - \frac{rr'}{aa'}\cos\delta + \cos(\psi' - \psi + \Pi),$$

dont la seconde fournit une valeur de ε qui renferme seulement les premières et les secondes puissances des exponentielles

$$e^{\pm\psi\sqrt{-1}},\ e^{\pm\psi'\sqrt{-1}}.$$

Alors aussi l'on peut appliquer à la recherche des coefficients renfermés dans le développement de $\frac{1}{v}$ une nouvelle méthode d'interpolation fondée sur les propriétés des racines de certaines équations réciproques. C'est au reste ce que je montrerai plus en détail dans un autre article. »

M. Dutrochet dépose deux paquets cachetés portant pour suscription, l'un: *Sur les mouvements du camphre;* l'autre: *Sur les variations diurnes de l'aiguille aimantée.*

RAPPORTS.

PHYSIQUE. — *Rapport sur un Mémoire de* M. **Edmond Becquerel**, intitulé: *Recherches sur les rayonnements chimiques qui accompagnent la lumière solaire, et la lumière électrique.*

(Commissaires, MM. Arago, Savary, Biot rapporteur.)

« L'Académie a chargé, MM. Arago, Savary et moi (M. Biot) d'examiner un Mémoire de M. Edmond Becquerel, contenant des recherches sur les rayonnements chimiques qui accompagnent la lumière solaire, et la lumière électrique. Nous allons avoir l'honneur de lui en rendre compte.

» Les découvertes de M. Niépce et de M. Daguerre ont offert aux physiciens un vaste champ de phénomènes qu'ils ne font que commencer à explorer, mais où leurs premiers pas ont déjà fait reconnaître l'existence d'une multitude d'actions physiques, jusque alors incomplétement soupçonnées, qui paraissent avoir une influence très puissante, comme très diverse, sur les combinaisons, et les décompositions chimiques des corps. Dans un concours d'efforts si récents, et dont le sujet paraît si étendu qu'on ne saurait prévoir où il pourra conduire, il serait presque impossible d'assigner déjà à chacun des faits successivement reconnus leur valeur, et surtout leur portée véritable. C'est pourquoi, sans hasarder une appréciation aussi délicate, nous nous bornerons à rappeler qu'on est arrivé à ce résultat général, savoir : que, de chaque point des corps, il dérive continuellement une infinité de radiations rectilignes, résultantes d'une émission matérielle, ou d'ondulations propagées ; susceptibles d'être absorbées, réfléchies, réfractées ; et qui, selon les qualités propres, attachées à leur nature ainsi qu'à leurs vitesses actuelles, peuvent produire la vision, la chaleur, ou déterminer certains phénomènes chimiques, lorsqu'elles sont reçues par des substances, ou par des organes, sensibles à leurs impressions. Ce que nous appelons *la lumière*, n'est qu'une spécialité de ces radiations, qui se trouve apte à impressionner notre rétine lorsqu'elles arrivent à l'œil avec certains degrés de vitesse. Chaque substance, vivante ou non vivante, organisée ou non organisée, est, de même, plus ou moins sensible à certaines portions de la radiation totale, que nous parvenons à distinguer les unes des autres, soit par leur réfrangibilité diverse, soit par leur inégale aptitude pour être absorbées par les mêmes milieux. Et les substances ainsi affectées, éprouvent souvent, sous cette influence, une excitation qui a pour résultat la séparation de leurs éléments constituants chimiques, ou qui les dispose à former des combinaisons que nous ne pourrions pas autrement déterminer.

» M. Edmond Becquerel ajoute à ces notions le fait suivant, dont l'établissement est l'objet spécial de son Mémoire : *Des rayons qui ne peuvent pas impressionner sensiblement une substance préparée à l'abri de toute radiation, peuvent continuer très vivement l'action que des rayons différents auraient commencé à exercer sur elle.* En conséquence, il appelle ceux-ci *rayons excitateurs*, et les autres *rayons continuateurs*. C'est l'expression immédiate de l'effet qu'il a observé. Nous verrons tout-à-l'heure qu'on peut encore l'énoncer sous une autre forme, qui nous semble mon-

trer plus évidemment sa connexion avec les phénomènes déjà connus; mais d'abord nous adopterons le langage de M. Becquerel.

» Il a constaté ce fait remarquable, par deux genres d'expériences que nous avons employées avec lui pour le vérifier, et nous allons les décrire successivement.

» Le premier consiste à briser, par le prisme, un trait de lumière solaire introduit dans la chambre obscure, et à faire agir séparément les diverses portions de la radiation totale ainsi réfractée. L'état brumeux du ciel rend cette expérience difficile dans la saison actuelle; cependant nous avons pu la faire une fois. M. Becquerel annonce, dans son Mémoire, l'avoir vu réussir sur les papiers imprégnés de bromure ou de chlorure d'argent, et sur les plaques d'argent iodurées. Nous ne l'avons vérifiée qu'avec les papiers bromurés, dont les modifications s'aperçoivent plus immédiatement; mais l'analogie avec les plaques iodurées rend très concevable que le même effet ait lieu pour elles. M. Becquerel n'a rien vu s'opérer de pareil sur la matière sensible du gaïac, ni sur l'acide chromique. Il remarque, avec raison, que cette succession d'effets ne peut pas être observée sur le chlorure d'or; mais, loin que ce soit une exception, cela nous paraît être plutôt une extension de la nouvelle propriété qu'il a découverte.

» Ayant jeté dans une chambre obscure un spectre lumineux horizontal, dont la direction longitudinale contenait tous les éléments tant visibles qu'invisibles de la radiation solaire, séparés et dispersés suivant l'ordre de leurs réfrangibilités respectives, on a préparé une longue feuille de papier sensible, en l'imprégnant d'abord d'une solution de bromure de potassium, la faisant sécher, et recouvrant ensuite la couche de bromure par une solution de nitrate d'argent, dans la chambre obscure même. Ce procédé a été indiqué par M. Talbot. On sait, ou du moins on croit savoir, qu'il s'opère alors un échange de bases, d'où résulte une formation immédiate de nitrate de potasse et de bromure d'argent, dans un état tel que ce dernier sel se trouve extrêmement sensible à l'action des radiations les plus réfrangibles. Quand la feuille ainsi préparée a été bien séchée, on l'a partagée en deux bandes A et B, dont l'une B a été enfermée soigneusement à l'abri de toute radiation, tandis que l'autre A a été immédiatement placée dans le spectre, de manière à recevoir sur sa longueur l'action de toutes les radiations de diverses réfrangibilités comprises non-seulement dans l'amplitude visible du spectre, mais encore au-delà de cette amplitude jusqu'à une certaine distance, principalement du côté de l'extrémité

rouge. Après peu de temps, le papier s'est impressionné dans les parties exposées aux radiations les plus réfrangibles, concordantes avec les rayons visibles bleus, indigos, violets, et même au-delà. Mais la portion exposée aux radiations les moins réfrangibles, concordantes avec les rayons visibles verts, jaunes, orangés, rouges, n'a éprouvé aucune coloration appréciable, même après un séjour assez prolongé pour que tout le reste de la bande fût déjà très notablement noirci. M. Edmond Becquerel a inséré dans son Mémoire une figure qui représente l'amplitude de coloration de la bande de papier, dans cette circonstance, telle que l'expérience nous l'a fait voir.

» Alors on a pris la bande de papier sensible B, qui avait été, jusque alors tenue enfermée à l'abri de toute radiation; et on l'a recouverte d'une bande de carton épais, plus longue et plus large, qui était, sur toute sa longueur, découpée par bandes transversales, alternativement vides et pleines. Puis, on l'a présentée un seul instant, peut-être pendant moins d'une seconde, à la radiation solaire directe, sous cet abri partiel. En ramenant le tout dans la chambre obscure, et découvrant le papier, pour le regarder à la lueur d'une bougie, on pouvait déjà entrevoir, dans toute sa longueur, quelque faible trace de coloration sur les bandes vides que la radiation avait frappées. Mais, en le portant dans le spectre, ces bandes prirent bientôt une teinte noire beaucoup plus forte, sous l'influence des radiations invisibles correspondantes aux réfrangibilités des rayons verts, jaunes, orangés et rouges; tandis que leurs intervalles, primitivement non impressionnés, demeuraient tout-à-fait insensibles. Dans tout le reste du spectre, au contraire, la coloration, d'abord un peu plus marquée sur les bandes impressionnées, s'est bientôt étendue uniformément. Après quelque temps, la coloration des bandes impressionnées, situées vers l'extrémité la moins réfrangible, s'est montrée au plus haut degré d'intensité dans la plage correspondante aux rayons verts; étant là aussi forte, ou presque aussi forte, que dans les violets; et se dégradant des deux côtés autour de ce maximum. Au lieu qu'il ne s'était opéré aucune trace d'action dans cette même plage, quand la bande n'avait pas été préalablement exposée à la radiation générale. Des expériences ultérieures nous ont appris que cette exposition ne peut être trop courte, ni la chambre trop complétement obscure, ni le carton protecteur trop épais. Il faut même se méfier de la bougie, dont la flamme n'est pas absolument dépourvue de radiation excitante. Mais la nécessité reconnue de toutes ces précautions ne fait que confirmer davantage le fait important découvert et annoncé par M. Ed-

mond Becquerel, savoir : que *certains rayons, inhabiles à exercer primitivement une action sur le papier, sont très propres à continuer cette action, quand elle a été commencée par d'autres.*

» Remarquons toutefois que la succession des résultats ainsi obtenus pourrait encore s'exprimer d'une manière différente, qu'il nous semble essentiel d'indiquer. On sait, d'une part, que les substances de nature dissemblable, sont généralement sensibles à des portions diverses de la radiation totale. D'une autre part, le fait primordial découvert par Niépce, et depuis si heureusement étendu, varié, appliqué par M. Daguerre, montre que les substances en s'impressionnant changent de nature, puisque les portions inégalement impressionnées deviennent inégalement sensibles à l'action chimique des mêmes milieux, liquides ou aériformes ; et c'est là ce qui produit la distinction des linéaments de l'image dans les dessins ainsi obtenus. Pareillement, pour les papiers sensibles, on ne peut douter que le bromure d'argent impressionné, et plus ou moins noirci, ne soit devenu différent du bromure non impressionné. Nous n'avons pas besoin de spécifier si la modification dont il s'agit est chimique ou mécanique ; c'est-à-dire si elle consiste dans la séparation et la dissipation d'un des principes, par exemple du brome, du chlore, de l'iode, ou dans un autre arrangement moléculaire des principes entre eux. Car ces deux modes d'altération pourraient également amener un degré différent de sensibilité aux mêmes réactifs chimiques, ou aux mêmes sortes de radiations. Dans cette seconde manière de voir, le phénomène observé par M. Edmond Becquerel peut s'énoncer, en disant que *le papier impressionné, et modifié, devient sensible à des portions de la radiation auxquelles il était primitivement insensible.* Ce qui rattache ainsi le nouveau phénomène à l'ensemble de ceux que l'on connaissait précédemment.

» M. Edmond Becquerel a reproduit les mêmes résultats, en substituant aux radiations séparées par le prisme les portions de la radiation totale, transmises par des verres colorés de nature diverse. Nous n'avons pas négligé ce moyen de confirmation. Mais nous rapporterons seulement une des expériences auxquelles nous l'avons appliqué.

» Elle a été faite avec un verre rouge qui, étudié par le prisme en prenant la flamme d'une bougie pour corps lumineux, ne transmettait à l'œil qu'une image simple de couleur rouge, terminée par un peu d'orangé. Néanmoins, quelques particularités qu'il nous a présentées nous portent à croire qu'il devait transmettre aussi une petite proportion de rayons invisibles, d'une réfrangibilité plus grande que celles-là. Ayant préparé une

feuille de papier sensible, dans l'obscurité, en l'imprégnant successivement de bromure de potassium, puis de nitrate d'argent, comme on l'a expliqué plus haut, on en a coupé deux morceaux pareils que l'on a successivement placés au fond d'une boîte de bois, où ils étaient entièrement recouverts par une plaque métallique dont la portion centrale était découpée en parties vides et pleines, figurant les contours d'un bouquet de fleurs. Le tout encore a été soigneusement recouvert d'une planche épaisse, puis porté hors de la chambre obscure au-devant d'une fenêtre ouverte au nord. Alors, enlevant rapidement l'obturateur en bois, puis le replaçant aussi vite qu'on a pu le faire, les parties du papier qui répondaient aux vides de la plaque métallique se sont trouvées ainsi exposées, certainement pendant moins d'une seconde, à la radiation diffuse du ciel brumeux de ces derniers jours. Toutefois, après avoir reporté le papier dans la chambre obscure, en le retirant de dessous la plaque métallique et le considérant avec attention sous diverses faces, à la lumière d'une bougie, on y entrevoyait une trace infiniment légère du dessin qu'on savait, ou qu'on présumait, devoir y exister. Celui des deux papiers où l'on a cru reconnaître le plus distinctement cette trace a été soigneusement serré et enfermé à l'abri de toute radiation, pour servir ultérieurement comme type comparable; l'autre, le moins impressionné, a été replacé au fond de la boîte, recouvert par le verre rouge à distance, et abrité de tous côtés par plusieurs doubles de papier noir collés les uns sur les autres dans tous les interstices par lesquels les radiations, ou l'air ambiant lui-même, auraient pu pénétrer latéralement. Cela fait, l'appareil a été exposé à la radiation diffuse du ciel, du côté du nord et vers le zénith; de manière que le papier la pouvait uniquement recevoir à travers le verre rouge, tant sur les parties de sa surface qui avaient été exposées un seul instant à la radiation directe, que sur celles que l'interposition du métal en avait préservées. On laissa continuer ainsi l'action depuis une heure du soir jusqu'à cinq. Alors, en démontant l'appareil dans l'obscurité, le bouquet parut très visiblement dessiné en noir sur un fond blanc; les portions du papier qui avaient reçu la radiation directe étant seules noircies, et les parties qui en avaient été préservées n'ayant éprouvé aucune action appréciable. Quant à l'autre papier qui avait été mis à l'abri de toute radiation, il avait conservé son état primitif, et l'image n'y était devenue ni plus ni moins discernable; de sorte que c'était un contraste frappant d'observer ces deux papiers à côté l'un de l'autre. C'est ce que M. Savart a reconnu comme nous, et il nous a autorisés à nous appuyer de son témoignage. Ainsi, sur le papier recouvert

du verre rouge, l'image s'était développée en l'absence de l'objet. Elle y existait donc d'abord, invisiblement définie et tracée par l'action instantanée de la radiation directe; et pour qu'elle ait pu ensuite ressortir visible sur le reste blanc du papier, il a fallu que ce reste demeurât insensible, ou à peine sensible, à la radiation transmise par le verre rouge, tandis que les portions qui avaient vu un instant le ciel à travers les vides de la plaque métallique continuaient de s'impressionner sous l'influence de cette même radiation transmise, et efficace pour elles seules. C'est précisément là le fait que M. E. Becquerel a voulu établir; et cette expérience, qui lui appartient, que nous avons seulement répétée avec lui, confirme pleinement les résultats obtenus en éprouvant l'action des radiations d'inégale réfrangibilité, après les avoir séparées par le prisme (1).

» On sait que les papiers sensibles, préparés selon la première méthode de M. Talbot, par la décomposition réciproque du chlorure de sodium et

---

(1) L'expérience a été répétée aujourd'hui avec des circonstances encore plus décisives. Ce matin, à 8 heures, on a pris un papier qui, depuis trois jours, avait été imprégné de bromure de potassium, de sorte qu'il était devenu parfaitement sec; puis on l'a imprégné de nitrate d'argent dans la chambre obscure, en s'éclairant par la seule lueur d'une bougie tenue très distante; et enfin on a opéré la dessiccation par la chaleur obscure, en l'appliquant sur un vase d'étain rempli d'eau chaude. Cela fait, on a coupé comme précédemment, dans ce papier, deux morceaux pareils, et les ayant successivement placés dans l'appareil d'exposition, recouverts par la vignette métallique découpée, on les a présentés pendant un instant le plus court possible à la radiation diffuse du ciel, alors excessivement brumeux, du côté du nord. Après les avoir retirés dans l'obscurité, ils n'offraient, ni l'un ni l'autre, aucune trace d'impression appréciable à l'examen le plus attentif. On a conservé l'un d'eux bien enfermé à l'abri de toute radiation, et l'on a exposé l'autre sous le verre rouge à la radiation zénithale du ciel. A une heure après midi on l'a ramené dans la chambre obscure; et, enlevant le verre rouge, on a vu le dessin très distinctement tracé, ce qui a été constaté avec nous par un habile professeur de physique, M. Masson, qui se trouvait alors dans les cabinets du Collége de France. Cette observation faite, on a replacé le verre rouge et exposé le tout de nouveau à la radiation zénithale. Le soir, en découvrant le papier, on a trouvé le dessin bien plus fortement marqué, tandis qu'il ne s'en était développé aucune trace sur le morceau qui avait été tenu à l'abri de toute radiation, deux résultats que M. Savart a constatés avec nous. Le fait annoncé par M. Becquerel est donc indubitablement vérifié par cette seconde épreuve. On a renfermé soigneusement ces deux papiers; et, s'ils ne s'altèrent pas d'ici à lundi prochain, on exposera à la radiation sous le verre rouge celui où le dessin est encore invisible, pour voir s'il se manifestera. On rendra compte du résultat à l'Académie, dans sa séance prochaine.

du nitrate d'argent, sont faiblement impressionnables par la radiation artificielle d'une lampe Locatelli. On devait présumer que cela aurait lieu aussi, et même à un degré plus marqué, pour les papiers où le chlorure est remplacé par un bromure. Comme l'intensité de cet effet n'était pas inutile à connaître pour l'exactitude des expériences précédentes, puisque les papiers sont éclairés par la flamme d'une bougie lorsqu'on les prépare, nous avons voulu la constater. Pour cela, ayant taillé, comme précédemment, deux morceaux pareils dans une même feuille de papier bromuré, nous les avons successivement présentés à la radiation diffuse du ciel sous la plaque métallique découpée, en tâchant de rendre le temps de l'exposition aussi court que possible; puis, nous avons conservé l'un d'eux dans une obscurité complète, bien abrité de toute radiation visible, et nous avons exposé l'autre dans la chambre obscure, à la radiation d'une lampe Locatelli à trois becs, munie d'un réflecteur métallique. Il s'est impressionné sensiblement en peu de minutes, et d'abord sur les parties qui avaient vu un instant le ciel à travers les découpures de la plaque métallique; de manière que le dessin du bouquet est devenu ainsi parfaitement distinct sur le reste du fond encore blanc, comme M. Savart a bien voulu le constater encore avec nous. Mais, peu à peu, le reste du papier a commencé aussi à se colorer; et l'intensité de sa teinte s'accroissant toujours, tandis que celle du dessin ne dépassait pas un certain maximum où elle était parvenue d'abord, la différence qui faisait apercevoir l'image est devenue graduellement moindre; et le tout a fini par se fondre en une teinte uniforme, mais beaucoup moins foncée que ne l'aurait produite la radiation directe du ciel. Ainsi, la flamme envoyait au papier deux sortes de rayons chimiques: les uns, en quantité très faible, capables de l'impressionner immédiatement sur toute sa surface; et les autres, en proportion beaucoup plus abondante, capables d'influencer seulement les portions qui avaient déjà reçu un moment la radiation directe du ciel. C'est encore l'expérience de M. E. Becquerel sous une autre forme. Mais, puisque les flammes artificielles émettent des radiations capables d'impressionner immédiatement le papier bromuré, la flamme de la bougie agira déjà sur lui pendant qu'on le prépare. Or cette influence doit avoir deux effets, dont l'un consiste à établir d'avance, sur toute la surface du papier, un commencement de teinte uniforme qui rendra la distinction ultérieure de l'image moins facile; tandis que l'autre peut accélérer la formation de cette image en rendant le papier immédiatement sensible à des radiations qui ne l'auraient pas affecté, s'il n'avait pas d'abord éprouvé cette première action.

La même cause influe sans doute [illegible] plaques d'argent iodurées, lorsqu'on les examine pendant leur [illegible]ation, pour voir si la couche d'iode dont elles sont chargées est [illegible]ment épaisse. Il ne sera pas inutile d'étudier les conséquences d[illegible]ves que cette première impression, si faible qu'elle soit, peut av[illegible] les représentations que l'on cherche à obtenir par ces divers pro[illegible] car aucun détail n'est à négliger dans des opérations dont le succès [illegible]nd de tant de circonstances délicates, et encore si peu connues.

» Les expériences [illegible]. Edmond Becquerel prouvent que les images sont déjà invisible[illegible] tracées sur les papiers, et sur les plaques, dès le premier instant q[illegible] radiation efficace agit sur leur surface. Cela résultait aussi antérie[illegible]nent des épreuves mêmes que M. Daguerre avait faites pour constater [illegible]xcessive sensibilité de la couche d'iode déposée sur les plaques d'arg[illegible]. La condition, tant desirée, de la rapidité de l'art photogénique do[illegible]onc consister, non pas à créer ou à fortifier l'image en prolongeant l'[illegible]on de la radiation émanée de l'objet, mais à la rendre manifeste en [illegible]bsence de l'objet, soit, comme l'a fait M. E. Becquerel, en soumet[illegible]t le papier, ou les plaques, à des radiations d'une telle nature, qu'ell[illegible] s'exercent seulement sur les portions de la surface déjà impression[illegible]es, étant inefficaces pour les autres; soit en cherchant des réactifs q[illegible]aient sur ces parties une action chimique différente, comme cela a [illegible]u dans les premières expériences de Niépce, et dans les opérations plus parfaites de M. Daguerre. En indiquant la possibilité de ce second mode de manifestation comme une conséquence de l'instantanéité du tracé, les commissaires n'ont pas du tout l'intention de supposer, ou de prévoir, que M. Daguerre ait dû suivre cette voie pour obtenir des tableaux résultants d'une impression qui ne dure qu'un moment, comme il vient de l'annoncer à l'Académie; et ils sont très loin de méconnaître combien la formation d'une figure, par la seule limitation géométrique de l'action directe, est moins difficile que la formation d'un dessin distinct des objets naturels, obtenu par réfraction dans la chambre obscure. Ils se bornent à signaler un principe physique résultant des expériences qu'ils ont dû examiner dans le présent rapport; et celui d'entre eux qu'ils ont chargé de le rédiger n'a, par lui-même, non plus que par le Mémoire de M. Becquerel, aucune notion du réactif chimique qui pourrait manifester l'image instantanément formée, soit sur la plaque iodurée, soit sur toute autre substance impressionnable. L'existence de cette image invisible est la seule chose qui leur soit prouvée; et sa manifestation, par l'action continue des rayons

devenus localement efficaces, est le seul mode qu'ils aient vu réalisé dans les expériences dont ils viennent de rendre compte.

» M. E. Becquerel a cherché si les impressions instantanément produites sur les papiers sensibles par les radiations qui accompagnent la lumière électrique seraient continuées par celles qui accompagnent la radiation solaire, et il s'est assuré que cela avait lieu. Le temps nous a manqué pour répéter avec lui cette expérience, mais l'analogie nous porte à la croire exacte. Néanmoins il était essentiel de l'effectuer.

» Lorsque la belle saison sera revenue, nous desirerions qu'il reprît ses expériences sur les radiations prismatiques, avec toutes les précautions qui peuvent leur donner la dernière rigueur; c'est-à-dire en fixant le trait de lumière solaire par un héliostat, en séparant ses éléments d'inégale réfrangibilité par les mêmes procédés dont Newton s'est servi dans l'analyse de la lumière, et en excluant avec le plus grand soin toute radiation étrangère à celles dont il voudra étudier les effets propres. Il sera utile qu'il répète alors une expérience que nous l'avons engagé à faire, et qu'il nous a dit avoir réussi, mais que le mauvais temps ne nous a pas permis de répéter nous-mêmes. Elle consiste à impressionner d'abord le papier sensible, non en l'exposant à la radiation solaire directe, ou diffuse, mais seulement en le plaçant, pendant quelques secondes, dans les portions les plus réfrangibles du rayon brisé, au-delà du violet visible, puis le reportant dans les parties les moins réfrangibles, pour voir si l'impression s'y continue encore, comme cela est très présumable, et comme il nous a dit l'avoir observé. Nous l'engageons aussi à faire alors les expériences nécessaires pour décider l'alternative d'interprétation dont ses résultats actuels sont susceptibles; laquelle consiste à savoir s'ils exigent nécessairement l'existence d'une propriété spéciale des rayons chimiques, dont les uns seraient à la fois *excitateurs* et *continuateurs*, tandis que les autres seraient seulement *continuateurs*, comme il l'a supposé; ou si, comme nous le croyons plus probable, la différence de ces effets successifs tiendrait seulement à un changement d'affection et d'impressionnabilité, résultant du changement de nature chimique ou moléculaire de la substance impressionnée. Parmi les épreuves qui pourraient décider cette alternative, nous desirerions qu'il examinât si la différente nature d'action qui semble ici inhérente aux réfrangibilités inégales, pourrait être suppléée par une différence d'intensité; et pareillement, si la différence d'affection ou d'impressionnabilité que l'on peut attribuer à la substance déjà impressionnée, comme

conséquence d'un changement chimique ou moléculaire, persiste et lui reste propre, tant qu'elle conserve son nouvel état.

» Ces mêmes expériences indiquent comme vraisemblables beaucoup d'autres conséquences qu'il faudra vérifier expérimentalement. Par exemple, quand on voit certaines combinaisons ou décompositions chimiques exiger d'abord l'action directe de la radiation solaire pour commencer à s'opérer, puis se continuer, et se terminer sous la seule action de la radiation diffuse, ne serait-ce pas aussi parce que les éléments en présence, étant une fois impressionnés, deviennent sensibles à ces dernières radiations, auxquelles ils étaient précédemment insensibles? Lorsque le chlorure d'or, et d'autres substances encore, une fois impressionnées par la radiation atmosphérique, continuent à se modifier dans l'obscurité, comme Seebeck dit l'avoir reconnu pour ce chlorure, ne serait-ce pas qu'elles deviendraient alors sensibles aux radiations qui émanent même des corps non lumineux? et ce dernier genre de radiation ne pourrait-il pas aussi être postérieurement efficace, dans une infinité de circonstances où l'on n'a pas jusqu'à présent soupçonné son action? Nous-mêmes, dans les expériences que le présent rapport a nécessitées, nous avons été surpris de voir les papiers bromurés s'impressionner sensiblement sur des parties de leur surface que nous nous étions efforcés de cacher à toute radiation directe, soit en les enfermant sous des enveloppes multiples de papier noir, collées les unes sur les autres, soit en les tenant serrées entre des plaques épaisses d'un bois très compacte. Est-ce que les particules d'air dont l'illumination compose l'éclat de l'atmosphère, ou les molécules pulvérulentes qui s'y trouvent mêlées accidentellement, s'imprégneraient de quelque propriété phosphorique qu'elles porteraient avec elles dans les endroits les plus cachés où elles peuvent s'introduire, et qui agirait ensuite par radiation? Ce sont là de simples soupçons que nous soumettons seulement à l'examen des expérimentateurs; car, dans une matière aussi nouvelle, il peut bien être permis d'indiquer toutes les déductions qui ne sont pas dépourvues de vraisemblance, à condition que ce soit dans le dessein d'appeler l'expérience à les vérifier.

» Nous signalons, avec plaisir, la variété de connaissances, ainsi que l'esprit d'invention, qui continuent de se faire remarquer dans ce nouveau travail de M. Edmond Becquerel. La jeunesse de l'auteur, et l'intérêt qu'il nous inspire, nous permettent de l'engager à fortifier ces belles qualités par la sévérité de raisonnement et la précision de mesures, qui assurent la durée des travaux scientifiques, et qui sont particulièrement essentielles

dans le sujet de recherches si riche, mais si difficilement saisissable, auquel il s'est livré. Nous nous réunissons pour demander à l'Académie de vouloir bien décider que le Mémoire dont nous venons de lui rendre compte sera inséré dans le *Recueil des Savants étrangers.* »

Les conclusions de ce Rapport sont adoptées.

NOMINATIONS.

L'Académie procède par voie de scrutin à la nomination d'un membre de la *Commission administrative* pour l'année 1841. Le membre sortant peut être réélu.

Le nombre des votants est de 38. Au premier tour de scrutin M. **Poinsot** réunit l'unanimité des suffrages.

MÉMOIRES LUS.

PHYSIQUE. — *Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petits diamètres; par* M. **Poiseuille**. (Suite.)

(Commission précédemment nommée.)

IV. *Influence de la température sur la quantité de liquide qui traverse les tubes de très petits diamètres.*

« Nous avons établi, dans deux lectures que nous avons eu l'honneur de faire devant l'Académie, les 14 et 28 décembre dernier, l'influence de la pression, de la longueur du tube et de son diamètre, sur la dépense ou le produit; nous avons obtenu, pour l'équation qui lie ces diverses quantités, $Q = k''.\frac{P.D^4}{L}$; on a trouvé le coefficient k'' égal à 183,78 pour la température de 10° cent., si P représente une pression d'eau distillée, ou bien égal à 2495,224 si la pression est exprimée en mercure à 10° centigrades. Nous allons maintenant chercher les variations qu'éprouve k'' suivant les températures.

» Nous avons agi depuis 0° jusqu'à 45° centigrades, et de cinq en cinq degrés. L'appareil est celui que nous avons employé jusqu'à présent; l'ampoule et le tube plongent dans un vase ou récipient contenant de l'eau distillée entretenue à la température à laquelle on veut faire l'expérience.

» Nous avons d'abord cherché les temps que met à s'écouler le liquide de l'ampoule aux températures que nous venons d'indiquer et sous la même pression; mais le diamètre du tube et la capacité de l'ampoule qu'on avait mesurés à 10° centigrades, changeant avec la température à laquelle est faite l'expérience, il a été nécessaire d'avoir égard à la variation du volume de l'ampoule de verre, et aussi de ramener le tube à un diamètre constant, celui qu'il a à 10°. On a ensuite déterminé le poids du liquide écoulé à la même pression, sous le même diamètre et pendant le même temps; on a tiré alors la valeur de k'' de l'équation $k'' = \frac{Q.L}{P.D^4}$, en remplaçant Q par le poids du liquide écoulé aux diverses températures.

» On a opéré sur quatre tubes de diamètres respectivement égaux à $0^{mm},02938$; $0^{mm},04404$; $0^{mm},085$; $0^{mm},141125$.

» Le tube de $0^{mm},141125$ de diamètre a donné

TEMPÉRATURES.	0°,6	5°	10°	15°	20°	25°	30°,1	35°,1	40°,1	45°
Valeurs de k''.	1875,36	2158,07	2496,60	2856,89	3237,38	3639,16	4067,03	4508,02	4968,95	5444,10

Les valeurs de k'' pour les autres tubes sont les mêmes, à quelques unités près, comme nous l'avons déjà vu pour la température de 10° centigrades (*Compte rendu*, 28 décembre 1840, page 1046).

» L'examen de ces valeurs démontre que la grandeur de k'' n'augmente pas de la même quantité pour des accroissements égaux dans les degrés de la température, mais que, si l'on prend la différence entre deux valeurs consécutives de k'', cette différence est d'autant plus grande que les températures sont plus élevées. Cette remarque nous a conduit à poser

$$k'' = k_1 (1 + AT + A'T^2 + A''T^3 + A'''T^4 + \text{etc.}),$$

T représentant la température; k_1 étant la valeur de k'' à 0°; A, A', A'', A''', etc. étant des coefficients à déterminer d'après les résultats des expériences.

» Mais il a suffi de considérer l'équation

$$k'' = k_1 3 (1 + AT + A'T^2),$$

ainsi qu'on le verra bientôt. Comme nous avons agi dans une atmosphère

de 13 à 15° cent., il nous a été difficile d'avoir un écoulement à zéro; pendant tout le cours de l'expérience, la température a été de quelques dixièmes de degré au-dessus de 0 : aussi, ne connaissant pas directement la valeur de k_1, nous avons alors pris les trois équations suivantes :

$$(1) \qquad k''_1 = k_1(1 + AT + A'T^2),$$
$$(2) \qquad k''_2 = k_1(1 + AT' + A'T'^2),$$
$$(3) \qquad k''_3 = k_1(1 + AT'' + A'T''^2);$$

k''_1, k''_2, k''_3 étant les valeurs de k'' correspondantes aux températures T, T', T'' : éliminant k_1, en divisant (1) par (2) et (1) par (3), on a

$$(4) \qquad (k''_1 T' - k''_2 T) A + (k''_1 T'^2 - k''_2 T^2) A' = k''_2 - k''_1,$$
$$(5) \qquad (k''_1 T'' - k''_3 T) A + (k''_1 T''^2 - k''_3 T^2) A' = k''_3 - k_1,$$

équations qui ont servi à déterminer A et A'.

» Afin d'embrasser l'intervalle de l'échelle thermométrique que nous avions considéré, nous avons fait $T = 5°$, $T' = 25°$, $T'' = 45°$, et les valeurs de k''_1, k''_2, k''_3 correspondantes, bien qu'elles eussent pu être fournies par un seul tube, ont été données par la moyenne entre les valeurs offertes par les quatre tubes aux températures 5°, 25° et 45°; nous avons eu alors

$$k''_1 = 2158, \quad k''_2 = 3640, \quad k''_3 = 5447.$$

Substituant ces valeurs dans les deux équations précédentes (4) et (5), et cherchant A et A', il vient

$$A = 0,0336793, \quad A' = 0,0002209936;$$

d'où il résulte

$$k'' = k_1(1 + 0,0336793\,T + 0,0002209936\,T^2).$$

» Pour déterminer k_1 nous avons fait $T = 10°$, et mettant à la place de k'' la valeur correspondante à cette température; cette valeur, en moyenne, est 2495,91 ; on a eu

$$k_1 = \frac{2495,91}{1,358892} = 1836,724:$$

il vient donc

$$k'' = 1836,724(1 + 0,0336793\,T + 0,0002209936\,T^2),$$

et enfin

$$Q = 1836,724(1 + 0,0336793\,T + 0,0002209936\,T^2)\,\frac{P.D^4}{L}$$

pour l'équation du mouvement des liquides dans les tubes de petits diamètres. T représentant la température, P la pression exprimée en mercure à 10° cent., L et D la longueur du tube et son diamètre à la même température, et Q le poids du liquide écoulé en milligrammes.

» Nous ne pensons nullement que cette équation, ni celle qu'on aurait pu obtenir en prenant un plus grand nombre de coefficients A, A′, A″, etc., exprime *rigoureusement* la relation qui lie les produits aux températures; mais les résultats qu'elle donne différant de ceux de l'expérience seulement de quelques millièmes de milligramme, nous avons dû l'adopter puisqu'elle suffit aux conséquences que nous nous proposons d'en tirer par la suite.

» Nous avons ainsi appliqué cette formule à chacun des tubes que nous avions considérés; l'un d'eux,

$$D = \overset{\text{mm.}}{0{,}085};\ L = \overset{\text{mm.}}{100{,}325};\ P = \overset{\text{mm.}}{776},\ \text{le temps étant } 1'';$$

pour les températures

0°,5; 5°; 6°; 10°; 15°,2; 20°; 25°,1; 30°,1; 35°,1; 40°,1; 45°,1,

a donné respectivement par l'expérience,

millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.
0,74943;	0,87135;	0,89492;	1,00811;	1,15498;	1,30639;	1,47278;	1,64022;	1,82398;	2,00724;	2,20027;

lorsque la formule donne aux mêmes températures,

millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.	millig.
0,75413;	0,87058;	0,89736;	1,00776;	1,15911;	1,30669;	1,47177;	1,63811;	1,82020;	2,00670;	2,20140.

» Les résultats offerts par les trois autres tubes sont aussi satisfaisants; il en est de même de tubes étrangers à la recherche de la formule.

» M. Girard a établi des formules d'écoulement en fonction de la température, mais elles sont particulières au diamètre du tube sur lequel on opère; ainsi, pour un tube d'un diamètre donné, il faut connaître *à priori* un certain nombre d'observations spéciales faites avec ce tube à diverses températures, pour obtenir la formule qui s'y rapporte, et qui doit fournir les quantités de liquide écoulé à toute autre température. »

MÉMOIRES PRÉSENTÉS.

MÉCANIQUE CÉLESTE. — *Note sur le mouvement en inclinaison de l'orbite de Mercure; par* M. **Le Verrier.**

(Commission précédemment nommée.)

« Dans le Mémoire que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie des Sciences, le 14 décembre 1840, j'ai fait voir que plusieurs des variations séculaires, admises jusqu'ici pour les éléments elliptiques des orbites des planètes, devaient recevoir de notables changements, en vertu des termes du troisième ordre qu'on avait cru pouvoir négliger. Ainsi, l'on avait trouvé que, par l'action de Vénus, l'obliquité du plan de l'orbite de Mercure sur l'écliptique de 1800, allait en diminuant de 8″ sexagésimales par siècle; tandis qu'il résulte de mon travail que cette diminution est de 15″ sexagésimales.

» Quelques motifs m'ont fait désirer de retrouver ce dernier résultat par une voie qui n'eût rien de commun avec celle des développements algébriques.

» Si les termes du troisième ordre produisent un effet presque égal à celui des termes du premier, n'y a-t-il pas lieu de craindre que la seconde approximation ne soit elle-même aussi insuffisante que l'était la première? Telle est l'objection qu'on m'adresserait sans doute. Elle serait fondée en apparence; et en se bornant à ce que j'ai publié, on ne pourrait la lever que par des considérations trop détournées sur les positions relatives des éléments des orbites de Mercure et de Vénus, pour qu'il m'ait été permis d'y avoir recours. Mais en glissant sur cette difficulté, mon intention n'était pas de l'éviter; j'y reviens aujourd'hui.

» On peut, par les méthodes d'interpolation, déterminer, pour une position donnée des deux planètes, la valeur numérique de la partie de la fonction perturbatrice qui est indépendante du moyen mouvement de la planète troublante; cette planète est ici Vénus. Appliquons cette marche à la recherche des termes analogues qui entrent dans l'expression de $\frac{d\varphi}{dt}$, φ désignant l'inclinaison de l'orbite de Mercure sur l'écliptique de 1800 supposée fixe. Si nous désignons par ζ le moyen mouvement de Mercure en une année julienne, et que nous nous bornions aux six premiers termes

périodiques, ce qui est suffisant, nous aurons :

$$\frac{d\varphi}{dt} = a_0 + a_1 \sin\zeta + b_1 \cos\zeta + a_2 \sin 2\zeta + b_2 \cos 2\zeta + a_3 \sin 3\zeta + b_3 \cos 3\zeta,$$

et il nous faudra connaître sept valeurs numériques de la fonction $\frac{d\varphi}{dt}$, correspondantes à des valeurs arbitraires de ζ, pour calculer les coefficients qui entrent dans le second membre.

» Soit $\alpha = 140° 56' 18''$. En attribuant à ζ les sept valeurs o, α, 2α, 3α, 4α, 5α et 6α, j'ai trouvé que les coefficients a_0, a_1, b_1, etc., dépendaient des sept équations suivantes, dans lesquelles j'ai supposé, pour plus de simplicité, $\frac{d\varphi}{dt} = \mathrm{F}(\zeta)$:

$$\begin{aligned}
\mathrm{F}(0) &= \quad 0'',109,\\
\mathrm{F}(\alpha) &= \quad 0'',119,\\
\mathrm{F}(2\alpha) &= -\,0'',551,\\
\mathrm{F}(3\alpha) &= -\,0'',121,\\
\mathrm{F}(4\alpha) &= -\,0'',204,\\
\mathrm{F}(5\alpha) &= \quad 0'',044,\\
\mathrm{F}(6\alpha) &= \quad 0'',054.
\end{aligned}$$

Leur résolution s'effectue très simplement par la méthode que j'ai indiquée dans un précédent Mémoire, et l'on trouve :

$$\begin{aligned}
a_0 &= -\,0'',150,\\
b_1 &= \quad 0'',031,\\
a_1 &= \quad 0'',248,\\
b_2 &= \quad 0'',217,\\
a_2 &= -\,0'',082,\\
b_3 &= \quad 0'',011,\\
a_3 &= \quad 0'',008.
\end{aligned}$$

» On sait que la variation séculaire de l'obliquité est égale à $100\,a_0$; et ainsi l'on retombe sur la diminution de 15″ par siècle, telle que je l'avais trouvée par une marche toute différente de celle que je viens de suivre. Mais ici nous sommes certains de n'avoir négligé aucun terme dont l'influence pût altérer l'exactitude des chiffres que nous avions intérêt à conserver. Rien ne s'opposera donc, je l'espère, à ce que les astronomes adoptent avec confiance ces nouvelles déterminations, que j'abandonne maintenant à leur appréciation. »

CHIMIE. — *Recherches médico-légales sur l'arsenic; par* MM. **Danger** *et* **Ch. Flandin.** (Suite.)

(Commission précédemment nommée pour diverses recherches sur l'emploi de l'appareil de Marsh.)

« Dans une précédente lecture, en nous prononçant sur la non-existence de l'arsenic, à l'état normal, dans les parties molles des cadavres humains, nous avons fait réserve de notre opinion sur la présence de l'arsenic dans les os où on l'avait plus exclusivement signalé. Nous venons aujourd'hui soumettre à l'Académie le résultat de nos expériences sur cette question, ainsi que sur celle de la présence de l'arsenic dans le terreau des cimetières.

» Pour rechercher l'arsenic dans les os, nous les avons d'abord traités suivant la méthode indiquée par divers chimistes. Nous les avons fait brûler sur une grille à une température modérée et de manière à les ramener à l'état de charbon animal. Nous les avons pulvérisés et fait bouillir dans l'acide sulfurique, puis repris par l'eau et filtrés. Le liquide introduit dans l'appareil de Marsh a donné des taches abondantes. Pour déterminer la nature de ces taches, nous avons brûlé le gaz dans un appareil disposé de manière à ne rien laisser perdre des produits, et n'avons pas obtenu d'acide arsénieux. Comparativement, un demi-milligramme d'une matière arséniée nous donne assez d'acide arsénieux pour en obtenir le métal et toutes les réactions qui caractérisent ce corps.

» Nous avons cru devoir ne pas nous en tenir à cette épreuve. Nous avons voulu nous assurer si dans la combustion préalable, à l'air libre, des parties inflammables des os, il ne se dégageait pas d'arsenic. Nous avons calciné les os dans une cornue en porcelaine, en faisant passer les produits volatils à travers un tube de même matière porté à la plus haute température qu'on puisse obtenir dans les laboratoires. L'appareil était disposé de manière à recueillir sans perte tous les produits.

» En brûlant, les gaz dégagés n'ont pas donné d'acide arsénieux.

» Les liquides condensés n'en ont pas fourni non plus.

» Le charbon déposé dans le tube, le noir animal qui restait dans la cornue, repris par les acides jusqu'à la complète destruction du carbone libre, n'ont produit aucune réaction qui pût faire soupçonner la présence de l'arsenic.

» Les expériences que nous avions faites sur les os, nous les avons ré-

pétées pour les terres. Nous avons été prendre du terreau dans les trois cimetières de Paris, Mont-Parnasse, Montmartre et le Père-Lachaise. Nous avons eu soin de le recueillir sur un grand nombre de points différents dans les tombes nouvellement ouvertes. Traité par les acides, à l'instar des os, le terreau a toujours fourni, avec l'appareil de Marsh, un gaz qui déposait des taches miroitantes sur la porcelaine. Mais les produits de la combustion de ce gaz, recueillis avec soin, ne contenaient pas d'acide arsénieux.

» Dans le but de détruire jusqu'aux dernières traces des combinaisons organiques, combinaisons qui compliquent encore aujourd'hui d'une manière inextricable les réactions chimiques les mieux connues, nous avons eu recours pour les terres au mode de calcination préalable que nous avions suivi pour les os. Dans l'un et l'autre cas les résultats ont été identiques : nous n'avons retiré du terreau aucune trace d'acide arsénieux. Les taches obtenues, avec l'appareil de Marsh, dans l'épreuve précédente, n'étaient donc pas de nature arsénicale. Toutefois, malgré ces résultats négatifs, tant de causes peuvent disséminer de l'arsenic dans les terrains meubles, que nous n'induisons nullement de nos expériences qu'on ne trouverait pas d'arsenic dans les localités mêmes où nous avons pris le terreau qui a servi à nos essais.

» Ces faits nous conduisent aux conclusions suivantes :

» 1°. Il n'existe pas plus d'arsenic, à l'état normal, dans les os que dans les chairs des cadavres humains;

» 2°. On ne peut prononcer sur la nature des taches obtenues avec l'appareil de Marsh, qu'après avoir brûlé le gaz qui les produit, et s'être assuré que les résultats de cette combustion donnent indéfiniment les mêmes taches.

» Nous ferons connaître d'une manière spéciale les procédés qui nous ont conduits à ces conclusions et à celles du travail précédent, en soumettant à l'Académie les applications directes que nous en avons faites aux cas d'empoisonnement par l'acide arsénieux. »

M. Cordier présente, au nom de M. Christol, une Note additionnelle au Mémoire de ce naturaliste sur le *Megaxytherium* (lamantin fossile de Cuvier). Dans ce supplément l'auteur a principalement pour objet de justifier la détermination qu'il a donnée de deux fragments d'os qui s'articulent avec les frontaux, et dans lesquels il voit l'extrémité postérieure des intermaxillaires, tandis que Cuvier les avait indiqués comme étant les os du nez.

M. Christol, d'ailleurs, reconnaît que dans ces animaux il peut y avoir eu soudure des os du nez et des intermaxillaires, de sorte que la pièce unique résultant de cette fusion pourrait sans erreur être désignée par l'un ou par l'autre nom; toutefois, remarquant que dans cette famille les os du nez tendent à disparaître (et il y aurait même lieu de croire, d'après un passage de Cuvier, qu'ils ont complétement disparu dans le Dugong ou qu'ils n'y sont plus qu'à l'état cartilagineux), il lui semble préférable de désigner par le nom d'intermaxillaire la pièce en question.

M. F. **Paulet**, de Genève, adresse la démonstration d'un théorème dont celui de *Fermat* n'est qu'un cas particulier, et qu'on peut énoncer de la manière suivante: « *Hors du second degré il n'existe aucune puissance qui puisse se partager dans la somme d'un nombre quelconque de puissances du même degré, mais différentes entre elles.* »

(Commissaires, MM. Cauchy, Sturm, Liouville.)

M. **Jacquemet**, auteur d'un Mémoire sur les moyens de prévenir les explosions des *machines à vapeur*, Mémoire qui est du nombre de ceux dont l'examen a été renvoyé à l'examen de la Commission des rondelles fusibles, adresse aujourd'hui une Note additionnelle à ce premier travail. Dans cette note il revient sur une cause d'explosion qu'il avait précédemment signalée, cause dont la découverte a été depuis attribuée à un autre ingénieur dans un journal anglais, le *Mechanic's Magazine*. Une réclamation de priorité adressée à l'éditeur de ce journal étant restée sans réponse, M. Jacquemet vient défendre ses droits près de la Commission chargée de l'examen de son premier travail, et il s'attache à prouver la justesse de l'interprétation qu'il a donnée du fait signalé par lui pour la première fois, interprétation qui diffère notablement de celle de l'ingénieur anglais.

(Renvoi à la Commission des rondelles fusibles.)

M. **Héricart de Thury** présente, au nom de l'auteur, M. **Lachaise**, des *tableaux annuels des opérations du Conseil de révision du département de Maine-et-Loire pour les classes de* 1817 *à* 1835.

(Commission du concours pour le prix de Statistique.)

CORRESPONDANCE.

M. le **Ministre des Travaux publics** accuse réception du Rapport fait à l'Académie sur les procédés de M. *Boucherie* pour la conservation des bois, et annonce qu'il va prendre les mesures nécessaires pour que ce document, dont il apprécie toute l'importance, soit porté à la connaissance de MM. les ingénieurs des Mines et des Ponts-et-Chaussées.

M. le **Ministre du Commerce** adresse un exemplaire du 40e volume des *Brevets d'invention expirés.*

M. **Gera**, de Conigliano, adresse une Notice historique sur les *machines à filer le lin.*

M. **Laignel** écrit relativement à quelques précautions au moyen desquelles on pourrait, suivant lui, diminuer notablement la fréquence des accidents sur les *chemins de fer.* M. Laignel se borne à quelques indications sur ce sujet, qu'il annonce devoir traiter, avec tous les développements nécessaires, dans un prochain Mémoire.

M. **Martin**, de Moussy, écrit qu'il est sur le point de commencer un grand voyage qui a pour objet principal l'étude des maladies endémiques et épidémiques, mais dans lequel il se propose également de recueillir des documents relatifs à la géographie, l'ethnographie et l'histoire naturelle; il prie l'Académie de vouloir bien lui indiquer les points vers lesquels il pourrait diriger le plus utilement pour la science ses investigations.

M. Martin se propose d'explorer les principaux états de l'Amérique du sud, le Mexique, la Nouvelle-Zélande, la Malaisie, l'Inde, la Perse, la Syrie et l'Égypte.

On remettra à M. Martin un exemplaire des instructions rédigées par l'Académie pour les voyageurs.

M. **Lebouteiller** prie l'Académie de vouloir bien se faire rendre compte d'un ouvrage périodique qui se publie sous sa direction et qui a pour titre : *L'Exposition,* journal de l'Industrie et des arts utiles.

Cet ouvrage étant publié en France et écrit en français, ne peut, d'après les réglements de l'Académie, devenir l'objet d'un rapport.

M. Goutt adresse une Note sur les moyens d'assurer la propreté et la salubrité des rues de Paris.

Cette Note n'étant que la transcription d'un opuscule imprimé dont l'auteur lui-même a adressé plusieurs exemplaires à l'Académie, ne peut devenir l'objet d'un rapport.

M. Raifé met sous les yeux de l'Académie une image photographique sur papier argenté, laquelle approche, plus que celles qu'il avait précédemment présentées, des images obtenues par le procédé ordinaire, c'est-à-dire sur plaqué d'argent.

M. Raifé adresse en même temps un *paquet cacheté.*

L'Académie en accepte le dépôt.

A 4 heures ½ l'Académie se forme en comité secret.

La séance est levée à 5 heures. A.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

L'Académie a reçu dans cette séance les ouvrages dont voici les titres :

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie royale des Sciences; 1er semestre 1841, n° 1, in-4°.

Observations sur la circulation des Fluides chez le Chara fragilis *Desvaux ; par* M. DUTROCHET. (Extrait des *Annales des Sciences naturelles*, janvier 1839.) In-8°.

Description des Machines et procédés consignés dans les Brevets d'invention, de perfectionnement et d'importation; tome 40, in-4°.

Recueil de la Société Polytechnique; novembre 1840, in-8°.

Actes de l'Académie royale des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Bordeaux; 2e année, 2e trimestre 1840, in-8°.

Mémoires de la Société d'Agriculture, Sciences, Arts et Belles-Lettres du département de l'Aube; nos 74 et 75, 2e et 3e trimestre de 1840, in-8°.

Bulletin de la Société industrielle d'Angers et du département de Maine-et-Loire; n° 5, 11e année, in-8°.

Précis statistique sur le canton de Senlis, arrondissement de Senlis (Oise). (Extrait de l'*Annuaire* de 1841.) In-8°.

Précis statistique sur le canton du Coudray-Saint-Germer, arrondissement de Beauvais (Oise). (Extrait de l'*Annuaire* de 1841.) In-8°.

OEuvres complètes de John Hunter, traduites de l'anglais par M. RICHELOT ; 12 liv. in-8°, et atlas in-4°.

L'Exposition, journal de l'Industrie et des Arts utiles; 6e liv., in-4°.

Journal de Chimie médicale, de Pharmacie et de Toxicologie; janvier 1840, in-8°.

L'Enseignement, bulletin d'Éducation; tome 1er, n° 12; décembre 1840, in-8°.

Paléontologie française; 11e liv., in-8°.

Journal des Haras, des Chasses, des Courses de Chevaux; tome 26, janvier 1841, in-8°.

Journal des Connaissances nécessaires et indispensables, *sous la direction de* M. Chevalier; 3 janvier 1841, in-8°.

Gazette médicale de Paris; tome 9, n° 2, in-4°.

Gazette des Hôpitaux; tome 3, n°s 2 et 4.

L'Expérience, journal; n° 184, in-8°.

La France industrielle; 7 janvier 1841, in-fol.